

Leiden, 1961

THESIS

Leiden ✓
Gift

EEN STUDIE OVER DE ARTICULATIE
VAN DE SCHOUDER

LANE LIBRARY. STANFORD UNIVERSITY

K. A. E. MEIJERS



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40153515_0136

EEN STUDIE OVER DE ARTICULATIE
VAN DE SCHOUDER

A study of the articulation of the shoulder

With a summary

EEN STUDIE OVER DE ARTICULATIE VAN DE SCHOUDER

A study of the articulation of the shoulder

PROEFSCHRIFT TER VERKRIJGING VAN DE GRAAD VAN
DOCTOR IN DE GENEESKUNDE AAN DE RIJKS-
UNIVERSITEIT TE LEIDEN, OP GEZAG VAN DE RECTOR
MAGNIFICUS DR. G. SEVENSTER, HOOGLEERAAR IN DE
FACULTEIT DER GODGELEERDHEID, TEGEN DE BE-
DENKINGEN VAN DE FACULTEIT DER GENEESKUNDE
TE VERDEDIGEN OP DONDERDAG 19 OKTOBER 1961,
TE 16 UUR

DOOR

KATHARINA ADRIANA ELISABETH MEIJERS

GEBOREN TE ROTTERDAM IN 1922

DRUKKERIJ „LUCTOR ET EMERGO” — LEIDEN

PROMOTOR: PROFESSOR DR J. M. F. LANDSMEER

Aan mijn ouders

INHOUD

Hoofdstuk	I	Literatuuroverzicht	1
Hoofdstuk	II	Inleiding eigen onderzoek	18
Hoofdstuk	III	Bevindingen bij inspectie en palpatie en bij röntgen-onderzoek tijdens het zijwaarts heffen van de arm	21
Hoofdstuk	IV	De plaats in de ruimte van de humerus, de scapula en de clavicula tijdens het zijwaarts heffen	34
Hoofdstuk	V	De anatomische verhoudingen van de kapsel van het humero-scapulaire gewricht	47
Hoofdstuk	VI	De verhoudingen in de humero-scapulaire gewrichts-kapsel tijdens het zijwaarts heffen	52
Hoofdstuk	VII	De verhoudingen in de humero-scapulaire gewrichts-kapsel tijdens het voorwaarts heffen	69
Hoofdstuk	VIII	De schoudergordel	79
Hoofdstuk	IX	Samenvatting en bespreking	82
		Summary and Discussion	99
		Geraadpleegde literatuur	109
		Afbeeldingen	

Dit proefschrift werd bewerkt in het Anatomisch-Embryologisch Laboratorium der
Rijksuniversiteit te Leiden.

HOOFDSTUK I

Literatuur

In 1867 publiceerde *Duchenne* op grond van zijn klinische waarnemingen gecombineerd met zijn bevindingen verkregen bij het electriseren van verlamde en gezonde spieren, het boek „Physiologie des Mouvements”. In het hoofdstuk gewijd aan de schouderbewegingen komt hij tot de conclusie, dat het zijwaarts heffen van de arm in twee fasen uiteenvalt. De eerste betreft de heffing tot het horizontale vlak, de tweede van de horizontale stand tot de verticale. In de eerste fase zou de humerus alléén bewogen worden en wel door contractie van de *m. deltoideus*, terwijl de *m. serratus anterior* slechts in geringe mate zou contraheren om de scapula te fixeren; in de tweede fase daarentegen zou een draaiing van de scapula plaatsvinden door contractie van de *m. serratus anterior*, zodanig, dat de arm maximaal geheven wordt, terwijl de onderlinge verhouding tussen humerus en scapula hierbij niet zou veranderen.

Deze zienswijze werd algemeen als juist erkend en is in verscheidene handboeken van die tijd terug te vinden, onder andere bij *Henle* (1856) en bij *Quain* (1882). Tegen deze opvatting ontstond echter kritiek.

Cathcart (1884) is de eerste die hier tegen op kwam. Door middel van nauwkeurige inspectie nam hij waar, dat tijdens het zijwaarts heffen van de arm in de eerste fase scapula en clavicula aan de beweging deelnemen en dat ook in de tweede de humerus in het humero-scapulaire gewricht beweegt. Hij bemerkte wel een kortdurende stilstand van de scapula aan het begin en even voor het eind van de heffing. In dit betoog valt alle nadruk op het gelijktijdig bewegen van scapula en clavicula bij heffing van de humerus; een nauwkeurige omschrijving van de standen, die achtereenvolgens ingenomen worden, ontbreekt.

Ook *Steinhausen* (1899) twijfelt aan de juistheid van *Duchenne's* zienswijze op grond van een onderzoek bij 95 soldaten die, naar zijn opvatting aan een geïsoleerde verlamming van de *m. serratus anterior* leden. Het bleek, dat zij de arm toch boven de horizontale stand konden heffen, hetgeen niet te verwachten was volgens *Duchenne's* bewegingsschema.

Dit was voor *Steinhausen* aanleiding om het zijwaarts heffen van de arm bij een normaal persoon röntgenologisch te bestuderen. Hij zorgt er voor, dat de humerus steeds in hetzelfde vlak als de scapula is gelegen. Bij de röntgenopname draait hij de proefpersoon daarom steeds zo, dat de stralen loodrecht op het scapulaire vlak vallen. Hij gaat hierbij van de veronderstelling uit, dat deze bepaling zonder moeite op het oog gedaan kan worden en het scapulaire vlak steeds verticaal blijft staan. De juistheid van deze zienswijze moet, zoals wij later bij het eigen onderzoek zullen zien, betwijfeld worden. Hij bemerkt hierbij, dat bij de langs het lichaam hangende arm de scapula een hoek van 20° met het frontale vlak maakt en dat na heffing deze hoek 45° is geworden. Bovendien treedt om een as loodrecht op de scapula een draaiing van 60° op. Met deze methode wordt gevonden, dat de humerus 120° in het humero-scapulaire gewricht draait. Daar de begin- en de eindstand bij heffing van de arm, door elk willekeurig vlak steeds dezelfde zijn, besluit hij dat de draaiingshoeken van scapula en humerus zich verhouden als 1 : 2. Deze simpele formulering is misleidend. Immers hij gaat zonder meer van de veronderstelling uit, dat de scapula alleen om deze twee genoemde assen draait.

De maximale elevatiestand van de arm ten opzichte van de romp werd vervolgens bij verschillende gezonde personen bepaald, waarbij nauwkeurig werd toegezien, dat de romp niet mee bewoog. De gevonden waarden varieerden tussen 150° en 180° , terwijl een enkele zelfs 195° bedroeg. *Steinhausen* merkte daarbij op, dat de maximale elevatiestand pas bereikt kan worden, nadat de humerus in zekere mate naar buiten is gedraaid.

Dat bij het heffen van de arm scapula en clavicula gelijktijdig worden bewogen, wordt na hem zonder meer door onder anderen *R. Fick* (1911), *Strasser* (1917), en *Mollier* (1924) aangenomen.

Het is daarom opmerkelijk in 1930 een artikel te vinden van *Lockhart*, waarin hij stelling neemt tegen de naar zijn mening nog algemeen verbreid zijnde opvatting van *Duchenne*. Door middel van fixatie van de scapula bij een proefpersoon, hetzij door de drukkende hand van de onderzoeker, hetzij met behulp van een band over de schouder en tussen de benen van een proefpersoon gehaald, laat hij zien, dat het niet lukt de arm bij zijwaarts heffen tot het horizontale vlak te brengen. Hij meende hiermede duidelijk aan te tonen, dat bij heffen tot 90° behalve de draaiing in het humero-scapulaire gewricht, ook een scapulaire beweging moet plaatsvinden. Door middel van röntgenfoto's kon hij zijn zienswijze bevestigen. Bovendien tonen de foto's, dat een beweging van de humerus heeft plaatsgevonden in de „tweede fase”. Dat hierbij een rotatie is opgetreden, is wel zichtbaar, doch wordt door hem niet beschreven.

Wel kon hij opmerken, dat steeds een ander gedeelte van het caput humeri in contact is met de cavitas glenoidalis op de van de verschillende standen in voor- achterwaartse richting vervaardigde röntgenfoto's. Bij de hangende arm bevindt het caudale deel van de

humerusbol zich tegenover het craniale deel van de cavitas. Bij de tot 90° geabduceerde arm is het op de projectie zichtbare middelste deel van de bol geheel bedekt door de cavitas, terwijl bij maximale elevatie het craniale deel gelegen is tegenover de cavitas. Eenzelfde soort waarnemingen werden ook door K n e s e (1950) beschreven. Hij ging niet alleen de standen van het caput humeri ten opzichte van de cavitas na door middel van foto's in voor-achterwaartse, doch ook in cranio-caudale richting. Hij gebruikte hiervoor zowel proefpersonen als anatomische preparaten. Met behulp van de foto's vervaardigd in cranio-caudale richting kan de schrijver aantonen, dat de humerusbol enigszins excentrisch ten opzichte van de cavitas gelegen is in bepaalde standen. Dit wijst op een discongruentie van de gewrichtsoppervlakken. Deze gedachte is zeker belangwekkend, doch het is te betreuren, dat de vervaardigde röntgenfoto's van proefpersonen en preparaten geenszins identieke beelden tonen.

Röntgenologisch onderzoek van de verschillende standen die scapula, humerus en clavicula achtereenvolgens bij heffing van de arm innemen, werd ook verricht door I n m a n en S a u n d e r s (1944). Zij zijn van oordeel, dat bij het heffen van de arm, hetzij in een frontaal, hetzij in een sagittaal vlak zowel scapula, humerus als clavicula gelijktijdig bewegen, hetgeen op een zodanige wijze plaatsvindt, dat een zekere verhouding opgesteld kan worden tussen de bewegingen van scapula en humerus. Zij formuleren dit op de volgende wijze. Bij elke 15° zijwaarts of voorwaarts heffen van de arm, komt 5° van de beweging voor rekening van de scapula en 10° voor die van de humerus met die beperking, dat deze samenwerking pas optreedt, nadat de arm bij heffing in een frontaal vlak 30° en bij heffing in een sagittaal vlak 60° heeft doorlopen. Voordat deze stand van de humerus bereikt is, maakt de scapula bewegingen, die individueel zeer verschillend zijn: nu eens zal de scapula naar de wervelkolom bewogen worden, een andere maal juist naar de laterale zijde van de thoraxwand. De preciese standen van de scapula ten opzichte van het frontale vlak worden door hen evenwel niet vermeld. Terloops wijzen zij er op, dat voor volledige elevatie in het frontale vlak, exorotatie van de humerus nodig is. Door bij proefpersonen een pen in de clavicula te slaan, die vervolgens als wijzer dienst doet, tonen zij aan, dat ook dit beenstuk een belangrijke rol speelt. Bij heffen van de arm kan een rotatie duidelijk worden aangetoond. Deze treedt op, nadat de arm 90° geheven is en zij bedraagt ongeveer 40°. Het is opvallend, dat deze auteurs in hun beschouwing geen aandacht schenken aan hetgeen reeds voor hen over de bewegingen in het humero-scapulaire gewricht werd gepubliceerd (zie bijvoorbeeld S t e i n h a u s e n en L o c k h a r t); nòch over hetgeen over de bewegingen van de clavicula geschreven werd (zie later onder anderen H e n k e, G a u p p, B r a u n e en F i s c h e r).

De conclusie, dat bij heffen van de arm, scapula en clavicula gelijktijdig

bewegen, wordt dus gevonden zowel bij Cathcart, Steinhausen, Lockhart, Inman en Saunders. Ook Fisk (1944) kwam tot eenzelfde opvatting door middel van röntgenonderzoek. Uitvoerige beschrijvingen over de preciese bewegingen van de beenstukken ontbreken hierbij grotendeels. Wel werd door enkelen terloops opgemerkt, dat de humerus bij het zijwaarts heffen geëxoroteerd wordt, terwijl ook de clavicula een rotatie ondergaat. Alleen bij Steinhausen wordt een beschrijving van de vlakken, waarin de scapula beweegt, gevonden.

Behalve het simultaan bewegen, door Inman en Saunders het duidelijkst beschreven, wordt ook aangegeven dat onder speciale omstandigheden de bewegingen van één van de beenstukken onafhankelijk van de ander kan geschieden. Zij menen dit aan te kunnen tonen door de volgende proefopstelling. Zij fixeren de scapula door middel van een band, die over de schouder gelegen en tussen de benen is getrokken en laten aan de hand van directe foto's zien, dat bij passieve abductie de arm tot 120° zijwaarts bewogen kan worden, bij actief bewegen tot 90° . Van deze waarnemingen publiceren zij geen röntgenopnamen. Dit is te betreuren, daar hierdoor een eventuele verplaatsing van de scapula, die op grond van de waarnemingen van Lockhart inderdaad te verwachten is, nagegaan had kunnen worden. De juistheid van hun opmerking dient nu enigszins betwijfeld te worden.

Op duidelijke wijze toont Martin (1932) aan, dat het *gelijktijdig* plaatsvinden van abductie en exorotatie van de humerus bij zijwaarts heffen niet noodzakelijk is. Nauwkeurig werden door middel van onmiddellijke observatie de bewegingen, die de humerus maakt bij het heffen van de arm in een frontaal vlak, door hem bestudeerd. Een proefpersoon met de armen hangend langs het lichaam en de onderarm naar voren, liet hij zover mogelijk zonder rotatie toe te laten, abducen. Hij bemerkte, dat dit tot 90° mogelijk was. Om zijwaarts bewegen van de wervelkolom te voorkomen, verzocht hij met opzet zijn proefpersoon beide armen te gebruiken. Maximaal heffen van de arm bleek pas mogelijk, nadat eerst een exorotatie had plaatsgevonden. Dat wil zeggen, nadat de gebogen onderarm omhoog werd gedraaid en hierdoor in het frontale vlak kwam te liggen. In dit onderzoek zijn de bewegingen van de humerus tijdens het zijwaarts heffen in de volgende drie fasen uiteengevallen: abductie tot 90° , exorotatie bij 90° abductie en vervolgens daarna weer „abductie” tot maximale elevatie. De verklaring voor het door hem met nadruk vastgestelde feit, dat exorotatie plaats moet vinden bij 90° abductie in een frontaal vlak, meent hij te vinden in de veronderstelling dat het tuberculum majus bij 90° abductie tegen het ligamentum coracoacromiale zou stuiten en door naar dorsaal uit te

wijken meer plaats zal vinden onder het acromion. In M a r t i n's artikel wordt vermeld, dat ook scapula en clavicula van stand veranderen, doch preciese gegevens ontbreken. In 1940 beschrijft hij, dat hoewel de scapula duidelijk beweegt bij het heffen, er toch geen direct verband is tussen de exorotatie van de humerus en de bewegingen van de scapula.

M a r t i n's waarnemingen werden bevestigd door C o d m a n (1934) en L e e M c G r e g o r (1937). In zijn boek „The Shoulder” beschrijft C o d m a n uitvoerig zijn directe waarnemingen over de „schouderbewegingen”. Hoewel C o d m a n zich er terdege van bewust is, dat bij het heffen van de arm ook scapula en clavicula bewegen, stelt hij zich uit praktische overwegingen voor klinische doeleinden tevreden met de registratie van de bewegingen van de arm ten opzichte van de romp. Om verwarring te voorkomen, geeft hij eerst definities van de verschillende standen, die de humerus ten opzichte van de romp kan innemen. Zo noemt hij de gestrekte arm hangend langs het lichaam met de handpalm naar voren de anatomische stand; de maximaal geheven arm boven het hoofd de „pivotal position”; de rotatie, die optreedt om een in een frontaal vlak geabduceerde arm tot 90° verder te laten heffen, exorotatie; terwijl de rotatie, die plaatsvindt na 90° heffen in een sagittaal vlak vanuit de anatomische stand endorotatie heet. In deze studie worden de laatste definities eveneens gebruikt; de eerste twee worden steeds omschreven en hebben geen speciale term gekregen.

Na eerst M a r t i n's waarneming bevestigd te hebben, gingen C o d m a n en L e e M c G r e g o r na, wat er gebeurt bij het heffen van de arm in een sagittaal vlak. Om de maximale elevatiestand te bereiken moet nu endorotatie optreden bij heffing van ca. 135° . Evenals M a r t i n wijzen zij erop, dat op welke wijze de arm ook geheven wordt, het eindresultaat, de maximale elevatiestand, in alle gevallen identiek is. De mediale epicondylus humeri wijst namelijk in de eindstand naar mediaal en ventraal. Afhankelijk dus van het vlak waarin de humerus geheven wordt, moet of een exorotatie of een endorotatie plaatsvinden en er zal een intermediair gelegen vlak zijn, waarbij de humerus zonder rotatie om zijn lengte-as geheven kan worden.

L e e M c G r e g o r wijst nog op het volgende. Wanneer de arm zonder rotatie tot 90° in het frontale vlak is geheven, kan de arm door een horizontaal vlak bewogen worden tot het sagittale vlak bereikt is. Verdere heffing tot de eindstand is daarna zonder rotatie mogelijk. Ook het omgekeerde is waar. Met andere woorden, de beweging door het horizontale vlak, door C o d m a n circumductie genoemd, heeft hetzelfde effect voor de arm gedurende het heffen als rotatie.

Het is van beide auteurs een verdienste, dat zij door nauwkeurig waarnemen bij levenden de armbewegingen nader hebben beschreven. Toch is het te betreuren, dat C o d m a n zich alleen heeft beperkt tot een beschrijving van hetgeen hij door middel van inspectie kon waarnemen en zijn bevindingen over de noodzakelijke exorotatie niet gevolgd worden door een analyse. De verklaring voor de exorotatie opgesteld door M a r t i n, wordt door L e e M c G r e g o r overgenomen. Bovendien zoekt hij naar een verklaring voor de noodzakelijke endorotatie bij heffing in het sagittale vlak. Hij is van mening, dat bij heffen het tuberculum minus tegen het ligamentum costocoracoideum zou botsen, hetgeen de voortgaande beweging zou belemmeren.*) Door endorotatie van de humerus zou dit uitsteeksel meer plaats vinden onder de processus coracoideus, waarna de heffing voltooid kan worden. In hoeverre de scapula bij deze bewegingen van de humerus betrokken is, wordt niet verder in zijn beschouwing opgenomen.

Daarentegen weet J o h n s t o n (1937) op theoretische gronden een verklaring voor de noodzakelijke rotatie bij heffing van de arm op te stellen, waarbij rekening gehouden wordt *zowel met de bewegingen van de scapula als van de humerus*. Alvorens tot een bespreking van deze opvattingen over te gaan, dient eerst nader ingegaan te worden op het werk van die groep onderzoekers, die het humero-scapulaire preparaat tot uitgangspunt van hun navorsingen kozen. Het is duidelijk, dat dit een geheel ander uitgangspunt is, daar tot nu toe alle waarnemingen gedaan waren aan de levende mens. Tot deze groep behoren onder anderen: S t r a s s e r (1883, 1917), R. F i c k (1911, 1928), M o l l i e r (1899, 1924), S h i i n o (1913), P f u h l (1934).

In 1883 vond S t r a s s e r een methode om de bewegingen van het heupgewricht te bepalen. Hij construeerde hiertoe een bol, waarvan het middelpunt samenviel met het bewegingsmiddelpunt in de femurkop. Bij het schoudergewricht wilde hij dezelfde methode toepassen. Is het heupgewricht onbeweeglijk door middel van het bekken met de wervelkolom verbonden, van geheel andere aard is het humero-scapulaire gewricht, dat via scapula en clavicula beweeglijk met het sternum verbonden is. Daarom stelde S t r a s s e r van te voren vast, dat men scherp moet onderscheiden of men de bewegingen van de arm wil bepalen ten opzichte van de romp, of ten opzichte van de scapula. Hij stelde zich uitdrukkelijk het laatste ten doel. Hij construeerde hiertoe een bol, waarvan het middelpunt samenviel met het bewegingsmiddelpunt van de humerus, terwijl

*) In zijn illustratie geeft hij echter duidelijk aan, dat het tuberculum minus tegen het ligamentum coracoacromiale stoot.

de scapula daarbij gefixeerd was. Een poolas werd loodrecht op de scapula gedacht en in het vlak door de scapula de aequator. De 0-meridiaan ging door het midden van de basis scapulae (dit is de margo vertebralis). De bolconstructie uitgedacht door *Strasser* vond, zij het met enkele wijzigingen, navolgers, onder anderen in *R. Fick* (1911, 1928), *Shiino* (1913) en *Pfuhl* (1934). Zij nemen evenwel de 0-meridiaan door het vlak van de scapula aan. Daar door hen aangenomen wordt, dat de scapula in de ruststand bij levenden een hoek van 30° met het frontale vlak maakt, ligt laatstgenoemd vlak in de meridianen -30° en $+150^\circ$, het sagittale vlak in de meridianen $+60^\circ$ en -120° ; waarbij de meridianen aan de ventrale zijde van de scapula gelegen positief, aan de dorsale zijde negatief genoemd worden. *Fick* (1928) bepaalde de maximale elevatie van de humerus in verschillende meridianen aan een preparaat, waarbij huid en spieren nog aanwezig waren, en ook na verwijdering hiervan. Hij vond de hoogste waarden in de meridianen 0° , $+30^\circ$ en $+60^\circ$. In het huid-spierpreparaat waren de gevonden waarden lager dan bij het kapselpreparaat. In beide gevallen deed een rotatie de heffing met ca. 10° toenemen. De maximale elevatiewaarden van de zonder rotatie geheven humerus aan het huid-spierpreparaat bedroegen ca. 93° , en aan het kapselpreparaat ca. 102° .

Pfuhl (1934) heeft een dergelijk onderzoek verricht bij 9 kapselpreparaten. Zijn maximale elevatiewaarden worden in de meridianen -10° tot $+30^\circ$ gevonden. De uitkomsten bij de verschillende preparaten toonden een spreiding tussen 90° en 117° . Ook werd aangenomen, dat de heffing van de humerus met 10° tot 20° toenam na endo-, dan wel exorotatie, afhankelijk van de meridiaan, waarin de beweging plaatsvond. *Shiino* (1913) vond bij twee kapselpreparaten de maximale elevatiewaarden schommelen tussen 115° en 108° bij heffen in de 0-meridiaan en de onmiddellijke nabijheid hiervan. Het is wel haast overbodig op te merken, dat bij de zojuist genoemde proefopstelling een groot aantal variabelen in het spel zijn, die in de publikaties niet genoemd worden. Dit maakt, dat de gesuggereerde nauwkeurigheid illusoir aandoet. De verschillen in de uitkomsten, die door de onderzoekers genoemd worden, kunnen voor een deel hiermee verklaard worden, al zal ongetwijfeld het materiaal zelve hiervoor ook aansprakelijk zijn.

Veel meer dan een constatering van feiten kan men bij deze onderzoekers niet vinden. *Pfuhl* vermeldt in de kantlijn, dat bij maximale abductie de kapsel strak aan de onderzijde gespannen is, doch tegelijkertijd, dat de humerus tegen het acromion botst. Een nauwkeurige beschrijving van de kapsel ontbreekt.

Als verklaring voor de rotatie wordt terloops door F i c k genoemd, dat deze inhaerent is aan het kogelgewricht, terwijl O h n s o r g e (1933) de plaats van de humeruskop ten opzichte van de humerusschacht hiervoor aansprakelijk stelt. Uit deze waarnemingen komt naar voren, dat bij gefixeerde scapula de humerus de maximale elevatiestanden kan bereiken, wanneer hij om en nabij de 0-meridiaan is geheven en geroteerd is. Toch kan nooit die stand gevonden worden, die bereikt wordt, wanneer de arm bij de levende mens wordt geheven. M a r t i n vond, dat bij levenden maximale heffing van de humerus in het frontale vlak mogelijk is na exorotatie, waarbij hij zich over de scapulaire beweging niet uitliet en zelfs van oordeel was, dat de beweging van dit beenstuk er niet toe doet. De bevindingen aan het anatomische preparaat van bovengenoemde auteurs tonen wel duidelijk, dat de maximale heffing bij normale personen niet op de beweging van de humerus alleen in het humero-scapulaire gewricht kan berusten.

F i c k heeft dus waargenomen, dat aan het anatomische preparaat bij intacte huid en spieren, de bewegingen geringer zijn dan aan een kapselpreparaat. Het bedrag, dat door hem opgegeven wordt voor abductie zonder rotatie in het huid-spierpreparaat (ca. 93°) is toch groter dan de bevindingen van Lockhart bij levenden. De laatste stelde immers vast, dat abductie bij de levende mens in het humero-scapulaire gewricht bij stilstaande scapula kleiner dan 90° is. Het is hierdoor waarschijnlijk, dat de belemmering bij de levende mens in het humero-scapulaire gewricht tengevolge van de aanwezige spieren en huid aanzienlijk groter moet zijn dan bij anatomische preparaten. Dit wordt ook door M o l l i e r (1899) vermeld. F i c k's waarneming laat duidelijk zien, dat excursies aan anatomische preparaten groter zijn dan de uitslagen, die bij de levenden gevonden worden en dus niet zonder meer gebruikt kunnen worden.

Ook B r a u n e en F i s c h e r (1888) ontwierpen een methode om de bewegingsmogelijkheden in het schoudergebied te bepalen. Zij gebruikten hiervoor geen bol, doch drie vlakken, die loodrecht op elkaar staan. Een punt in de ruimte zal door middel van projectie op deze vlakken volkomen bepaald zijn. Op de humerus wordt een vast punt aangenomen. Wordt nu de humerus in verschillende vlakken tot de uiterste stand bewogen, dan zal het bovengenoemde vaste punt in de ruimte van plaats veranderen. Door middel van de reeds aangenomen drie vlakken kan telkens de plaats van dit punt worden vastgelegd. Nadat de maximale standen zijn bepaald, wanneer alle gewrichten nog intact zijn, wordt eerst het sterno-claviculaire gewricht uitgeschakeld, vervolgens het acromio-claviculaire gewricht. De beweeglijkheid, die daarna nog overblijft, betreft dan alleen het humero-scapulaire gewricht. Het aantal graden, dat de *humerus zonder rotatie* in het humero-scapulaire gewricht geheven kan worden, is afhankelijk van het vlak van heffing. De grootste uitslagen worden bereikt

in de vlakken gelegen aan de ventrale zijde tussen het frontale en sagittale vlak. Deze waarden zijn ca. 106° . De invloed van de bewegingen in het acromio-claviculaire en sterno-claviculaire gewricht op de heffing van de humerus zal later worden besproken (blz. 10).

Het bleek uit het voorafgaande, dat verschillende onderzoekers volstonden met het bestuderen van de armbewegingen ten opzichte van de romp. Daar hierbij de bewegingen gemaakt door scapula en clavicula onvoldoende naar voren kwamen, zal thans verder hierop worden ingegaan.

In 1732 wordt hierover reeds een beschouwing gevonden in het door *W i n s l o w* geschreven boek „Exposition anatomique de la structure du corps humain”. Volgens deze auteur gaat het acromion omhoog, wanneer de arm geheven wordt. De heffing van het acromion gaat gepaard met een daling van de *angulus superior scapulae* en met een naar buiten draaien van de *angulus inferior*. Deze draaiende beweging lijkt hem het belangrijkste. Een hoekverandering tussen clavicula en het vlak van de scapula wordt door hem van zo geringe betekenis geacht, dat hij deze beweging meent te mogen verwaarlozen. Deze zienswijze wordt verder uitgewerkt door *H e n k e* (1863). Na er op gewezen te hebben, dat de bewegingsmogelijkheid tussen scapula en thoraxwand zeer groot is, neemt hij in navolging van *W i n s l o w* aan, dat de scapula alléén een draaiende beweging maakt. Deze beweging moet dan plaats hebben om een as, die loodrecht op de scapula staat en ongeveer in het midden van het scapulaire vlak is gelegen. Bij heffen van de arm zal door draaiing om de bovenbeschreven as de *angulus inferior scapulae* naar lateraal bewegen totdat de *margo axillaris* verticaal komt te staan. De *angulus superior* zal naar beneden en naar de wervelkolom bewegen, terwijl het acromion naar omhoog verplaatst zal worden. De scapula is via het acromio-claviculaire en het sterno-claviculaire gewricht met het sternum verbonden. De bewegingsmogelijkheden van het schouderblad worden dus mede hierdoor bepaald. *H e n k e* is van oordeel, dat de verbinding tussen acromion en clavicula een zeer hechte is, die zo weinig beweging toelaat, dat alleen de hoek tussen clavicula en het vlak van de scapula in geringe mate kan veranderen. Het sterno-claviculaire gewricht daarentegen zou een zeer grote beweeglijkheid hebben, hetgeen betekent, dat alle bewegingen van de scapula bepaald zullen worden door de bewegingsmogelijkheid in het sterno-claviculaire gewricht. Ook bij *C o d m a n* (1934) treffen wij dezelfde gedachtengang aan.

Een geheel ander geluid wordt in het werk van *M e y e r* (1873) vernomen. Hij neemt aan, dat niet alleen aan het sterno-claviculaire gewricht, doch ook aan het acromio-claviculaire gewricht een grote beweeglijkheid moet worden toegekend. Hij onderscheidt twee soorten bewegingen van de scapula:

1. Plaatsveranderingen (Lage-Änderungen), waarbij de stand in de ruimte van de scapula dezelfde blijft en waarbij het beenstuk naar boven of onder, naar mediaal of lateraal wordt verschoven.
2. Standveranderingen (Stellungs-Änderungen), waarbij de stand in de ruimte verandert, hetgeen plaatsvindt door een draaiende beweging.

Hoewel hij theoretisch een scherp onderscheid maakt tussen de plaats- en standveranderingen van de scapula, weet hij, dat zij in werkelijkheid niet zo scherp gescheiden voorkomen.

Naar zijn mening vinden de standveranderingen plaats in het acromio-claviculaire gewricht. In dit gewricht ontwierp hij daartoe een drieassenstelsel, namelijk een horizontale as in een sagittaal vlak gelegen, een horizontale as in een frontaal vlak gelegen en een verticale as. In het werk van Meyer zal men echter géén bewijsvoering voor zijn standpunt inzake de beweeglijkheid in het sterno-claviculaire en acromio-claviculaire gewricht vinden.

Ook Lewinski (1877) deelt de zienswijze van Meyer. Er worden door hem nog wijzigingen in het assenstelsel van het acromio-claviculaire gewricht aangebracht, waarna hij vervolgens theoretisch nagaat, wat er gebeurt indien bepaalde krachten op de scapula aangrijpen. Dit geeft echter geen verdieping van ons inzicht in de bewegingen, die zich in het acromio-claviculaire gewricht afspelen. Dat de bewegingen van de scapula behalve door de clavicula mede bepaald worden door de vorm van de thoraxwand, het gewicht van de arm, wordt zowel door Meyer als door Lewinski met nadruk vermeld.

Experimenteel bepaalden Braune en Fischer (1888) aan een anatomisch preparaat, bestaande uit thoraxwand met scapula, clavicula en humerus, waarbij spieren en huid nog aanwezig waren, de bewegingshoeken bij heffing van de arm in de drie gewrichten (blz. 9). Nadat eerst de excursie van de humerus werd bepaald in verschillende vlakken wanneer alle gewrichten intact waren, werden vervolgens de claviculaire gewrichten na elkaar uitgeschakeld door immobilisatie eerst van de clavicula, daarna van de scapula. Zij bemerkten, dat zowel het acromio-claviculaire als het sterno-claviculaire gewricht een aandeel hebben bij het heffen van de arm. Er zij op gewezen, dat zij alleen de heffing zonder draaiing om de lengte-as van de humerus nagingen. Zij bevestigden dus door experimenteel onderzoek hetgeen door Meyer en Lewinski theoretisch werd aangenomen, hoewel deze auteurs niet door hen genoemd worden. Afhankelijk van het vlak, waarin de arm geheven wordt, zal het ene dan wel het andere gewricht hierbij in meer of mindere mate betrokken

zijn. Zo merkten zij op, dat bij heffing in het frontale vlak de sterkste bewegingen in het sterno-claviculaire, bij heffing in het sagittale vlak juist in het acromio-claviculaire gewricht plaatsvinden.

Ook Strasser (1917), Mollier (1924) en Pfuhl (1934) wijzen erop, dat de beweging van het scapulaire vlak afhankelijk is van het vlak van heffing van de arm. Bij elevatie van de arm in een sagittaal vlak zal de scapula langs de thoraxwand naar ventraal worden bewogen, hetgeen gezien de bovengenoemde bevindingen gepaard gaat met een grote bewegingsuitslag in het acromio-claviculaire gewricht. Daarentegen zou bij het zijwaarts heffen van de arm het vlak door de scapula frontaal worden geplaatst, hetgeen gepaard gaat met een grote beweging in het sterno-claviculaire gewricht. Het nauwe verband, dat wordt verondersteld te bestaan tussen het vlak waarin de arm wordt geheven en het scapulaire vlak, zou dus mogelijk gemaakt worden door de beweeglijkheid, die zowel in het acromio- als in het sterno-claviculaire gewricht gevonden wordt.

De bewegingen, die de clavicula in het sterno-claviculaire gewricht kan maken, zijn volgens Gaupp (1894), Testut (1929) en Poirier (geen jaartal):

1. draaiing om een horizontale sagittale as, zoals gedemonstreerd wordt bij het optrekken van de schouders en
2. een draaiing om een verticale as, zoals duidelijk is, wanneer de schouders naar voren getrokken worden.

Bovendien is Gaupp van oordeel, dat ook een rotatie om de eigen lengte-as mogelijk is, waardoor de bovenrand iets naar achteren draait; een beweging die optreedt, wanneer de arm vanuit de horizontale stand tot de verticale wordt geheven. Hij kwam tot deze opvatting door nauwkeurige inspectie van de clavicula bij levenden. Ook Codman deelt deze zienswijze. Inman en Saunders (1944) bepaalden, zoals reeds genoemd, experimenteel de draaiende beweging van de clavicula om zijn lengte-as. Deze beweging treedt pas op nadat de arm tot 90° zijwaarts geheven is en bedraagt 40° .

In een groep van 100 militairen kon Steinhäusen door middel van zorgvuldige directe observatie dit feit 70 maal in meer of mindere mate constateren, hetgeen op een grote variabiliteit van deze draaiende beweging wijst. Over de bewegingen van de scapula laat hij duidelijk naar voren komen, dat deze tweeërlei zijn: met name een draaiing *in* het vlak van de scapula en een draaiing *van* het scapulaire vlak. Men kan zich voorstellen, dat de eerstgenoemde beweging gaat om een as loodrecht op de scapula, waarbij de angulus

inferior 60° naar lateraal draait en de tweede beweging een standverandering is van het vlak, waarin de scapula zich bevindt. Maakt, zoals aangenomen wordt, dit vlak met het frontale vlak aanvankelijk in de ruststand een hoek van 20° , bij maximale elevatie is deze hoek ongeveer 45° . De auteur veronderstelt hierbij stilzwijgend, dat de scapula zich steeds in een verticaal vlak bevindt.

In zijn monografie over de bovenste extremiteit stelt *Strasser* (1917) zich de vraag, welke betekenis moet worden toegekend aan de bovenbeschreven bewegingen van de scapula. Het reeds genoemde verband tussen het vlak van heffing van de arm en de stand van het scapulaire vlak is bepalend voor zijn antwoord. Hij ziet dus de draaiing van het scapulaire vlak als een middel om de heffing te vergemakkelijken. Door aan te nemen, dat de middellijn van de scapula in het verlengde van de humerus zal komen te liggen, zal de kapsel zo min mogelijk worden gewrongen. Onder de middellijn wordt de verbinding verstaan tussen het midden van de margo vertebralis en de cavitas glenoidalis. Een en ander zal bereikt worden door draaiing van de scapula in zijn eigen vlak, waarbij de cavitas glenoidalis meer naar boven draait. Hoe dit ook zij, het is dus duidelijk dat er een samenhang is tussen de bewegingen gemaakt door de humerus en tussen die van de scapula.

Laten wij thans nagaan hoe *Johnston* (1937) deze samenhang ziet, waarbij hij ook voor de noodzakelijk optredende rotaties van de humerus tijdens de heffing een antwoord tracht te geven.

Johnston wil de bewegingen van de arm behandeld zien op dezelfde manier, als elk ander meer distaal gelegen gewricht, waarbij de bewegingen van het distale beenstuk bepaald worden ten opzichte van het proximale gelegen. Dit betekent dus voor de humerus, dat de bewegingen ten opzichte van de scapula moeten worden gezien onafhankelijk van de stand ten opzichte van het lichaam. Hoewel deze zienswijze niet nieuw is (zie *Strasser*), zal uit het volgende blijken, dat vroegere auteurs er te weinig consequenties aan verbonden. Dit houdt in, dat bij heffing van de humerus de stand van de scapula bepaald moet worden, evenals de standverandering, die tussen humerus en scapula optreedt. Nu is dit voor elk moment niet doenlijk. Wij zullen ons daarom allereerst bepalen tot de maximale elevatietoestand. In deze stand, zo neemt *Johnston* aan, staat de humerus verticaal en in het vlak van de scapula. Deze stand zal bereikt worden, wanneer maximale humero-scapulaire abductie en maximale scapulaire rotatie heeft plaatsgevonden. Een en ander is gemakkelijk voor te stellen op de volgende wijze: men neme scapula en humerus en bootst de stand van de hangende arm met de onderarm naar voren na, terwijl de scapula in een frontaal vlak staat. De maximale

elevatiestand kan men bereiken op de volgende wijze. Als eerste brengt men de humerus in het humero-scapulaire gewricht in maximale abductiestand. Stel dat dit mogelijk is tot 90° . Men denke zich nu het humero-scapulaire gewricht gefixeerd en laat dan de scapulaire beweging plaatsvinden. Deze beweging denken wij ons uiteen te vallen in de twee reeds genoemde componenten en wel in een rotatie om een horizontale as loodrecht op de scapula, en in een rotatie om een verticale as. Beide malen veronderstelt men, dat de rotatie over een hoek van 90° plaatsvindt. In de eindstand zal de scapula verticaal staan met de margo vertebralis horizontaal en de angulus inferior naar ventraal wijzend, terwijl ook de humerus in verticale stand en in het vlak van de scapula zal staan. De epicondylus medialis is naar voren gedraaid en staat in dezelfde richting als de angulus inferior scapulae. Het is nu van belang vast te stellen, dat *hoewel de humerus ten opzichte van de romp geroteerd staat, dit geenszins het geval is ten opzichte van de scapula*. Vervolgens denkt men zich in, dat de humerus onafhankelijk van de scapula beweegt. Wil men thans weer de maximaal geheven stand bereiken, dan laten wij de scapula opnieuw op dezelfde wijze bewegen als boven, dus 90° roteren om een horizontale as loodrecht op de scapula, daarna 90° om een verticale as. Hierbij wordt aangenomen, dat de scapula bij het begin van de beweging in het frontale vlak staat. Wil men nu de humerus in het frontale vlak heffen tot 180° en wil men bovendien, dat uiteindelijk de humerus ten opzichte van de scapula in dezelfde eindstand zal staan als in bovengenoemd geval (waarin zij bij 90° abductie aan elkaar gekit worden gedacht), dan blijkt dit pas mogelijk wanneer de humerus behalve een heffing van 180° , ook een draaiing van 90° doormaakt. Immers, wordt de arm uit de beginstand 180° geheven in een frontaal vlak, dan blijkt, dat de epicondylus lateralis humeri bij hangende arm aan de laterale zijde gelegen van het lichaam, nu aan de mediale zijde is gelegen. De eindstand verkregen bij heffing wanneer scapula en humerus met elkaar verbonden zijn en deze laatst beschrevene, zijn geenszins identiek. Dit zal pas het geval zijn, wanneer de epicondylus lateralis van mediaal naar dorsaal is gedraaid en de epicondylus medialis dus van lateraal naar ventraal, hetgeen wil zeggen, dat de humerus om zijn lengte-as gedraaid is. Deze draaiing moet exorotatie genoemd worden. Bij heffing van de arm in een frontaal vlak moet dus naast de abductie een rotatie plaatsvinden. Deze rotatie is noodzakelijk wil de humerus de eindstand ten opzichte van de scapula bereiken, *een stand, die ten opzichte van de scapula stellig niet als een geroteerde stand kan gelden. De exorotatie, die de humerus moet ondergaan blijkt dus noodzakelijk om uiteindelijk een in beginsel niet geroteerde stand ten opzichte van de*

scapula te bereiken. Bij het uitblijven der exorotatie zou de humerus ten opzichte van de scapula in een geëndoroteerde stand komen te staan. De bewegingen van de scapula hebben tot gevolg, dat de humerus in gedraaide stand ten opzichte van de scapula komt te staan en de bovengenoemde exorotatie heeft geen ander doel dan deze roterende werking op te heffen. Wij kunnen ons thans afvragen, welk deel der bewegingen van de scapula verantwoordelijk is voor deze roterende invloed. Beweging van de scapula om een horizontale as loodrecht op zijn vlak zal, wanneer wij weer even de humerus aan de scapula in 90° abductie vastgekit denken, de verdere heffing in een frontaal vlak te weeg brengen, verondersteld nog altijd, dat de scapula in het frontale vlak draait. De rotatie om de verticale as evenwel geeft de rotatie van de scapula en de eraan vastgedachte humerus. Is de humerus los, dan zal hij deze beweging ook moeten maken om de eindstand te bereiken. *In het algemeen kan gezegd worden, dat bij de heffingen van de humerus de uiteindelijke stand afhangt van de weg, die dit stuk door de ruimte kiest.* Wil eenzelfde stand bereikt worden, dan dient dus, hetzij uiteindelijk, hetzij onderweg, afhankelijk van de actuele situatie, een rotatie plaats te vinden. Of exo- dan wel endo-rotatie zal plaatsvinden, is afhankelijk van de meridiaan, waarin de arm geheven wordt. Bovendien zal te begrijpen zijn, dat bij aanwezigheid van de kapsel humerus en scapula niet zo vrij kunnen bewegen als in deze theoretische opzet en dat torsies in de kapsel te verwachten zijn, indien de humerus de scapulaire beweging niet met passende rotaties zou volgen. De exorotatie zoals door Martin beschreven, komt door deze beschouwing in een ander licht, daar naast de door hem genoemde invloed van het ligamentum coracoacromiale ook een torsie in de kapsel aanwezig lijkt te zijn. Daar deze beschouwingen van Johnston zeer belangrijk zijn, is het wel noodzakelijk, dat zij aan de werkelijkheid getoetst worden. Voorop wordt toch door hem gesteld, dat de scapula bij maximale heffing verticaal staat, terwijl de humerus zich eveneens in dit vlak bevindt. Ook de veronderstelling, dat de scapula om hoeken van 90° draait is geheel theoretisch.

Landsmeer en Nauta (1950) bemerkten door middel van onmiddellijke waarneming, dat bij abductie van de humerus tot 90° in een frontaal vlak zonder exorotatie, waarbij de humerus dus niet verder geabduceerd kan worden, ook de scapula niet de eindstand, zoals bij maximale elevatie voorkomt, kan bereiken. Werd de humerus geëxoroteerd, dan bemerkten zij, dat zowel de humerus als de scapula hun maximale eindstand konden bereiken. Daar humerus en scapula, door een kapsel verbonden, bij 90° abductie zonder exorotatie beide niet verder bewogen konden worden, lijkt het waarschijnlijk, dat

een kapseltorsie is opgetreden en wel zodanig, dat deze de belemmering vormt voor verdere beweging. Door exorotatie van de humerus zou deze torsie opgeheven worden en is een zodanige beweging mogelijk geworden, dat zowel de humerus als de scapula hun maximale eindstand kunnen bereiken.

Samenvatting literatuur

De bestudering van de literatuur laat zien, dat vele auteurs zich met een onderzoek naar de bewegingen in het schoudergebied hebben bezig gehouden. De vragen welke hierbij gesteld worden, zijn van uiteenlopende aard geweest, evenals de wijze, waarop een gesteld probleem benaderd werd. In vogelvlucht willen wij nog eens overzien tot welke resultaten de verschillende onderzoeken aanleiding hebben gegeven. Er bleven zeker ook problemen onaangevoerd, waarvan de uitwerking voor een goed inzicht in hetgeen zich afspeelt noodzakelijk zal blijken te zijn en die daarom genoemd zullen worden.

Een tijd lang stond in het centrum van de belangstelling de vraag op welk tijdstip tijdens het zijwaarts heffen van de arm de beenstukken, humerus, scapula en clavicula aan de beweging deelnemen. Meent *Duchenne* (1867) dat het zijwaarts heffen in twee fasen uiteenvalt, namelijk de eerste, waarbij de humerus alleen tot 90° wordt geheven en de tweede, waarbij alleen scapula en clavicula bewegen, terwijl de verhouding tussen scapula en humerus hierbij geen verandering meer ondergaat, door *Cathcart* (1884) kan door nauwkeurige inspectie worden aangetoond, dat er een gelijktijdig bewegen plaatsvindt van alle drie de beenstukken. Latere auteurs, onder anderen *Steinhausen* (1899), *Lockhart* (1930), *Inman* en *Saunders* (1944) kunnen met behulp van röntgenonderzoek deze zienswijze onderschrijven. De bewegingen, die in de ruimte door de beenstukken worden uitgevoerd, worden aanvankelijk slechts terloops genoemd en zeer ten dele beschreven. Dit laatste geldt bijvoorbeeld voor de exorotatie van de humerus. Pas in 1932 wordt op dit verschijnsel door *Martin* de aandacht gevestigd. Hij zoekt hiervoor een verklaring in de verhouding tussen het tuberculum majus en de fornix humeri. Later zal blijken, dat deze opvatting niet onaanvechtbaar is. *Codman* (1934), *Lee McGregor* (1937) bevestigen deze waarneming en voegen er aan toe, dat het heffen in een sagittaal vlak gepaard gaat met endorotatie van de humerus. Over de vraag welke bewegingen scapula en clavicula maken, zijn aanvankelijk de meningen verdeeld geweest. *Winslow* (1732) en *Henke* (1863) zijn van oordeel, dat de belangrijkste beweging van de scapula het naar lateraal verplaatsen is van de angulus inferior en van de clavicula.

vicula een naar craniaal bewegen van het acromiale einde. De hoek tussen scapula en clavicula zou hierbij niet veranderen, omdat naar hun opvatting, het acromio-claviculaire gewricht praktisch onbeweeglijk is. Latere onderzoekers, onder anderen Meyer (1873) en Steinhäusen (1899) melden, dat de angulus inferior niet alleen naar lateraal kan worden verplaatst, doch dat bovendien de hoek van de scapula met het frontale vlak groter kan worden. Steinhäusen beschrijft, dat in de stand van de hangende arm de scapula een hoek van 20° met het frontale vlak maakt (Fick 30°) en dat bij maximale heffing deze 45° is. De hoek, die de margo vertebralis met een verticale lijn maakt aan het eind van de heffing, bedraagt ca. 60° . Tegen zijn wijze van onderzoek zijn zeker bezwaren aan te voeren. Bovendien neemt hij stilzwijgend aan, dat de scapula zich steeds in een verticaal vlak bevindt. Hij is ook van oordeel, dat in beide claviculaire gewrichten een goede beweeglijkheid is. Een opvatting, die door Braune en Fischer (1888) kon worden bevestigd. Gaupp (1894), Steinhäusen (1899) en anderen beschrijven de bewegingen van de clavicula. Deze zijn van drieërlei aard, namelijk een heffing van het laterale deel, een verplaatsing naar achteren hiervan en een rotatie om de lengte-as.

Behalve de vraag, welke bewegingen door de drie beenstukken tijdens het heffen gemaakt worden, vonden ook onderzoekingen plaats naar de grootte van de beweging in elk gewricht, speciaal het humero-scapulaire gewricht. De groep onderzoekers onder anderen: Strasser (1883, 1917), R. Fick (1928), Shino (1913), Pfuhl (1934) vinden, dat in een humero-scapulair preparaat bij stilstaande scapula het aantal graden, waarover heffing mogelijk is, afhankelijk is van de meridiaan, waarin de humerus geheven wordt. Afhankelijk van de meridiaan, waarin de heffing plaatsvindt, kan endo- dan wel exorotatie de heffing een 10° tot 20° bevorderen. Echter wordt nooit de eindstand zoals bij levenden voorkomt bereikt, waaruit wel duidelijk blijkt, dat de bewegingen van de scapula over de thoraxwand noodzakelijk zijn om de arm maximaal te heffen. Een verklaring, waarom de heffing door rotatie belemmerd dan wel bevorderd wordt, ontbreekt. In het algemeen wordt door deze onderzoekers, die toch steeds bezig zijn met anatomische preparaten, niet of weinig over de toestand van de kapsel zelf gesproken. Pfuhl meldt, dat aan het einde van een beweging de kapsel aan de onderzijde strak is uitgespannen, doch tegelijkertijd, dat de humerus tegen het acromion botst.

Het is opmerkelijk, dat men is blijven stilstaan bij het vermelden van al deze feiten. Artikelen, waarbij de consequenties van de gevonden gegevens nader onder de loupe genomen worden en waarbij naar een onderlinge samenhang

tussen de bewegingen van de beenstukken gezocht wordt, treft men slechts zelden aan. Natuurlijk bestaan hierop uitzonderingen. Zo is *Strasser* van oordeel, dat de scapula bij zijwaarts heffen meer in een frontaal, bij voorwaarts heffen meer in een sagittaal vlak draait. Hierdoor zou de scapula de humerus in zijn bewegingen volgen en zou de kapsel zo min mogelijk worden gewrongen.

In dit opzicht is ook *Martin* te noemen. Immers, hij heeft als eerste op de noodzakelijkheid van de exorotatie gewezen en hiervoor een verklaring gegeven. Dat daarbij de bewegingen van de scapula niet genoemd en zelfs van geen belang geacht worden, is opmerkelijk en verzwakt zijn verklaring. Daarentegen brengt *Johnston* (1937) naar voren, dat de bewegingen in het humero-scapulaire gewricht als in elk ander meer distaal gelegen gewricht moeten worden beschouwd en geeft als consequentie hiervan aan, dat bepaalde bewegingen van de scapula hun repercussies moeten hebben op de bewegingen van de humerus. De exorotatie van de humerus ziet hij dan ook als een gevolg van de rotatie om een verticale as van de scapula. Deze opvatting werpt dus een geheel ander licht op het probleem over de noodzaak van de exorotatie dan *Martin's* zienswijze. Er dient hierbij nog te worden opgemerkt, dat *Johnston* theoretisch te werk is gegaan. Een toetsing aan de werkelijkheid zal zeker gewenst zijn, daar hij aanneemt, dat de scapula steeds in een verticaal vlak zich bevindend, zowel om een horizontale als verticale as 90° draait. Ook het onderzoek aan het anatomische preparaat bleef in zijn werk grotendeels achterwege. Dat een zodanige wijze van werken echter zeker van node is, wordt nog gesteund door de opvatting van *Landsmeer* en *Nauta* (1950), die als belemmering voor de heffing van de arm vóór de exorotatie, verschijnselen in de zin van een torsie in de kapsel verwachten.

Bij het ter perse gaan kwam ons het boek „Theory of Shoulder Mechanism” van *Saha* (1961) in handen, zodat wij dit nog niet in het literatuuroverzicht konden verwerken. In dit werk worden de verhoudingen van het caput humeri tot de cavitas glenoidalis behandeld en de werking van de spieren. Op de door ons gestelde problematiek wordt niet ingegaan.

HOOFDSTUK II

Inleiding eigen onderzoek

Bij het heffen van de arm treedt een gecompliceerd mechanisme in werking, daar niet alleen de humerus, doch ook de scapula en de clavicula bij deze beweging betrokken zijn. Er blijken veranderingen plaats te vinden in het sternoclaviculaire, het acromio-claviculaire en het humero-scapulaire gewricht. De scapula zal hierbij naar lateraal glijden over de thoraxwand. De clavicula zal onder andere om zijn lengte-as draaien. Het heffen van de arm bleek evenmin een enkelvoudige beweging van de humerus te zijn, daar behalve de voortgaande beweging tot maximale elevatie ook een rotatie om de lengte-as plaatsvindt. Over de oorzaak van de bewegingsbelemmering, die optreedt tijdens het heffen, wanneer endo- dan wel exorotatie achterwege blijft, bestaan verschillende meningen. Deze werden in het vorige hoofdstuk uitvoerig besproken.

Het doel van deze studie is om een nader inzicht te verkrijgen in de bewegingen, die door de humerus, de scapula en de clavicula worden uitgevoerd tijdens het heffen van de arm. Nadat de anatomie van de humero-scapulaire gewrichtskapsel beschreven is, zal ingegaan kunnen worden op de veranderingen, die de verschillende structuren tijdens het heffen zullen ondergaan. Daarbij zal een inzicht verkregen kunnen worden in de oorzaak van bepaalde bewegingsbelemmeringen. In hoeverre het ligamentum coracoacromiale, buiten de kapsel gelegen, hierbij van invloed is, zal nader onderzocht moeten worden. De functionele aspecten van de acromio-claviculaire gewrichtskapsel en het coraco-claviculaire ligament zullen in het kort worden aangestipt.

Er werd besloten om eerst de veranderingen, die bij het heffen van de arm in het frontale vlak plaatsvinden aan een uitgebreid onderzoek te onderwerpen. De humerus moet in dit vlak exoroteren om maximaal geheven te worden. Bij elk willekeurig heffen vindt de noodzakelijke rotatie ongemerkt plaats. Door de twee componenten abductie en exorotatie tijdens de heffing na elkaar plaats te doen vinden, is het mogelijk om precies na te gaan welke bewegingen de humerus, de scapula en de clavicula maken, wanneer de arm achtereenvolgens

eerst tot ongeveer 90° wordt geabduceerd, daarna geëxoroteerd, om vervolgens maximaal geheven te worden. Door middel van nauwkeurige inspectie en palpatie kunnen de nu ingenomen standen van de drie beenstukken of mogelijke standen aan het begin en einde van een armbeweging beschreven worden. Het betreft dus de volgende vier standen:

de arm hangend langs het lichaam: stand I;

de arm tot 90° geabduceerd zonder rotatie: stand II;

de arm tot 90° geabduceerd met rotatie: stand III;

de maximaal geheven arm: stand IV.

Met behulp van tekeningen van een dorsaal en lateraal aanzicht van deze standen zullen de gegevens nauwkeurig vastgelegd worden. Ook werden röntgenfoto's van deze standen vervaardigd. Door de röntgenmethode worden delen van de humerus, de scapula en de clavicula zichtbaar, die met de directe observatie niet bereikt worden, zoals het caput humeri en de tubercula, de cavitas glenoidalis en de processus coracoideus. Deze waarnemingen worden in hoofdstuk III beschreven.

Een losse humerus, scapula en clavicula kunnen wij als resultaat van de nauwkeurige inspectie en palpatie in dezelfde stand plaatsen als bij de proefpersoon. Dit gaat gemakkelijk met de humerus, waarvan de stand van tevoren gegeven is, moeilijker echter met de scapula en de clavicula. Daarom willen wij de afgeleide standen van de scapula en clavicula op hun juistheid toetsen. Door een projectiebeeld van de scapula of clavicula te vervaardigen, hetzij door middel van een tekening, hetzij door een röntgenfoto, kunnen de nu ontstane projectiebeelden vergeleken worden met de reeds verkregen röntgenfoto's van de proefpersoon. In hoofdstuk IV zal hierop nader worden ingegaan. Nadat de plaats in de ruimte bij de verschillende standen van de drie beenstukken bekend is, kunnen wij de veranderingen, die zich afspelen in de verbindingen tussen humerus en scapula, nader bestuderen. Alvorens echter tot de bespreking van deze veranderingen over te gaan, zullen de voornaamste punten uit de anatomie van het humero-scapulaire gewricht in hoofdstuk V beschreven worden. Hierbij wordt speciaal gedacht aan de structuren, die bij het bewegen van belang zijn, zoals de aanhechting van de pezen aan de kapsel, de ligging van de bursae ten opzichte van de gewrichtsholte, de plaats van de ligamenten binnen en buiten de kapsel.

In hoofdstuk VI zullen de veranderingen in de humero-scapulaire gewrichtskapsel bij het zijwaarts heffen uitvoerig besproken worden. De aanhechtingspunten van de kapsel zijn bij de humerus op het collum anatomicum en bij de scapula op het labrum glenoidale gelegen. Nu de plaats in de ruimte van de

beenstukken bekend is, evenals de anatomie van de kapsel, kan nagegaan worden, waar deze is uitgespannen en waar plooien optreden bij de verschillende standen. Indien een belemmering van een beweging optreedt, zal nagegaan worden of de oorzaak intra- dan wel extra-capsulair gelegen is. Hierbij wordt speciaal gedacht aan een eventueel remmende invloed van het ligamentum coracoacromiale. Na deze uitvoerige beschrijving van de kapsel bij het zijwaarts heffen kunnen wij met behulp van de verworven kennis en verdere inspectie en palpatie ook nagaan, wat er plaatsvindt bij het heffen in een middenvlak en in het sagittale vlak. In hoofdstuk VII zal hierop worden ingegaan.

Vervolgens zullen in hoofdstuk VIII de veranderingen, die tussen scapula en clavicula kunnen optreden genoemd worden. Een diepgaande studie naar de veranderingen in het acromio-claviculaire gewricht en het gedrag van het ligamentum coracoclaviculare hierbij, valt buiten het bestek van dit onderzoek.

In hoofdstuk IX zullen de verkregen gegevens uit dit onderzoek samengevat worden en indien nodig van commentaar worden voorzien. Tenslotte zal een verklaring gegeven worden voor de noodzakelijke rotaties, die tijdens de heffing van de arm optreden.

HOOFDSTUK III

Bevindingen bij inspectie en palpatie en bij röntgenonderzoek tijdens het zijwaarts heffen van de arm

Wanneer iemand de arm maximaal heft, zal doorgaans de rotatie ongemerkt plaatsvinden. Dat deze beweging evenwel een noodzakelijk onderdeel bij de heffing is, komt duidelijk naar voren wanneer de arm, zonder rotatie toe te laten in een frontaal vlak geheven wordt. De beweging is tot om en nabij 90° mogelijk en pas nadat exorotatie heeft plaatsgevonden, kan de maximale elevatiestand bereikt worden. Een en ander gaf ons aanleiding om nauwkeurig na te gaan, welke standveranderingen de scapula, de clavicula en de humerus doormaken bij het zijwaarts heffen van de arm, wanneer abductie en rotatie na elkaar plaatsvinden.

Teneinde deze analyse te vereenvoudigen zullen wij achtereenvolgens de onderlinge verhouding van de beenstukken nagaan bij de volgende standen:

de arm hangend langs het lichaam: stand I;

de arm maximaal geabduceerd zonder rotatie: stand II;

abductie onveranderd met exorotatie van 90° : stand III;

de arm maximaal geheven: stand IV.

Tijdens het onderzoek werd de onderarm 90° in het elleboogsgewricht gebogen. Daardoor kunnen de bewegingen van de bovenarm doeltreffender worden vastgesteld door middel van een plaatsbepaling van de lengte-as van de humerus en de beide epicondyli, terwijl eventuele bewegingen van de onderarm, welke een juiste interpretatie kunnen bemoeilijken geëlimineerd worden. Aan de proefpersonen werd ook verzocht, de bewegingen met beide armen tegelijkertijd uit te voeren, om daarmee het zijwaarts bewegen van de wervelkolom te voorkomen.

Met de bestudering van deze bovengenoemde standen wordt bereikt, dat wij behalve de duidelijk bepaalde begin- en eindfase van de beweging als geheel, ook de stand kunnen beschrijven, waarbij zich een bijzonder moment in de beweging voordoet, namelijk waar de abductie zonder exorotatie tot een eindstand blijkt te voeren. Het is zodoende ook mogelijk de standveranderingen,

die tussen humerus en scapula optreden na deze exorotatie nader te analyseren.

Eerst zal een beschrijving gegeven worden van hetgeen door inspectie en palpatie bij de levende mens tijdens de bovengenoemde houdingen van de arm waargenomen kan worden. Daarna zal uitvoerig melding worden gemaakt van hetgeen op de röntgenfoto's, die vervolgens van dezelfde standen werden vervaardigd, te zien is.

A. Waarnemingen door middel van inspectie en palpatie bij een proefpersoon, waarbij achtereenvolgens de bovengenoemde vier standen van de arm worden ingenomen

De nu volgende beschrijving is de neerslag van hetgeen door inspectie en palpatie bij een proefpersoon werd waargenomen (fig. 1 t/m 6). Deze bevindingen werden aan twaalf proefpersonen getoetst. De leeftijd van de 2 vrouwelijke en 11 mannelijke proefpersonen varieerde tussen 18 en 25 jaar.

Stand I. De armen hangend langs het lichaam (fig. 1 en 2)

De proefpersoon houdt de armen op zodanige wijze naast het lichaam, dat indien de onderarmen in het elleboogsgewricht tot 90° gebogen worden, zij tezamen met de bovenarmen in een sagittaal vlak zijn gelegen. De humerus bevindt zich met zijn lengte-as en beide epicondylen in een frontaal vlak.

Inspectie van de dorsale zijde van de thoraxwand (fig. 1) toont de in de mediaanlijn gelegen processus spinosi, die ten opzichte van het hele reliëf iets zijn verzonken. Het kost niet veel moeite het spierreliëf van de ontspannen m. trapezius en van de m. deltoideus op te merken en voorts de margo vertebralis, de spina scapulae en het acromion. De scapula is op het laterale deel van de dorsale thoraxwand gelegen. Het valt op, dat de margo vertebralis evenwijdig aan en op enige afstand van de processus spinosi enigszins promineert, terwijl de rest van de scapula, meer naar lateraal gelegen, de thoraxwand in zijn kromming naar lateraal en ventraal volgt. De scapula is dus niet in een frontaal vlak gelegen, doch maakt een hoek hiermee. De margo vertebralis is bij de proefpersoon op 7 cm van de wervelkolom gelegen; de contouren van de angulus superior en de angulus inferior zijn duidelijk te onderscheiden.

Inspectie van lateraal (fig. 2) van de thoraxwand laat zien, dat het craniale deel van de margo vertebralis licht naar ventraal helt. De spina is, zowel van lateraal als dorsaal duidelijk zichtbaar en loopt van mediaal naar lateraal schuin op. Van de spina is de onderrand tot en met het acromion duidelijk te palperen.

Van het acromion is het craniale vlak goed af te tasten. Dit uitsteeksel breidt zich licht hellend in cranio-ventrale richting uit. De stand van het acromion ten opzichte van de wervelkolom, werd bepaald door middel van een lijn getrokken door de processus spinosus van C 7 en het laterale uiteinde van het acromion. Deze lijn loopt van mediaal naar latero-caudaal onder een hoek van ongeveer 15° met het horizontale vlak. Bij palpatie onmiddellijk onder het acromiale gedeelte van de clavicula vindt men de top van de processus coracoideus. De margo axillaris gaat evenals de cavitas glenoidalis geheel schuil onder de m. deltoideus en de mm. teres major en minor, waardoor inspectie niet mogelijk is en palpatie bemoeilijkt wordt.

Inspectie van de ventrale zijde van de thorax geeft een goed beeld van de ligging en de vorm van de clavicula. Dit beenstuk gelegen tussen het craniale deel van het sternum en de ventro-mediale zijde van het acromion, loopt naar lateraal schuin op. Van craniaal gezien heeft dit beenstuk een S-vorm. Het sternale deel is het meest naar ventraal, het acromiale deel — wat verbreed — het meest naar dorsaal gelegen. Dit laatste is verbonden met het acromion in het acromio-claviculaire gewricht, waarvan de gewrichtsspleet, in een nagenoeg sagittaal vlak gelegen, duidelijk gepalpeerd kan worden. De schuin naar lateraal oplopende clavicula maakt een hoek van ongeveer 15° met het horizontale vlak. De beide claviculae maken met elkaar een hoek van om en nabij 120° , met het frontale vlak een hoek van ca. 30° . Bij inspectie van de twaalf proefpersonen werd gevonden, dat de hoek van de clavicula met het horizontale vlak kon wisselen tussen 0° en 15° . De hoek met het frontale vlak was steeds ca. 30° .

De proefpersonen werd verzocht om de langs het lichaam hangende armen naar de wervelkolom te trekken, om hierdoor na te kunnen gaan of de scapulae ook in het frontale vlak geplaatst kunnen worden. De margo vertebralis komt hierdoor dicht bij de wervelkolom en blijft hieraan evenwijdig. Het acromion blijft ook hierna ventraal gelegen ten opzichte van de margo vertebralis. De armen worden in geringe mate naar dorsaal verplaatst en de hoek, die de clavicula maakt met het frontale vlak is groter geworden.

Stand II. Maximale abductie zonder rotatie (fig. 3 en 4)

Het zijwaarts heffen van de arm zonder rotatie is tot ongeveer 90° mogelijk en blijkt gepaard te gaan met bewegingen van scapula en clavicula. De beweging van de scapula is gekenmerkt door een verplaatsing van de angulus inferior naar lateraal en van de angulus superior naar mediaal; de beweging van

de clavicula door een verplaatsing naar dorso-mediaal en craniaal van het acromiale uiteinde.

Inspectie van de drie beenstukken leert het volgende.

De humerus is met de lengte-as en de beide epicondyli in het frontale vlak gelegen, waarbij de epicondylus medialis naar onderen en de lateralis naar boven wijst.

Op de dorsale zijde van de thoraxwand is de contractie van de m. deltoideus, de m. trapezius en in geringere mate ook van de m. teres major en de m. latissimus dorsi in het spierrelief zichtbaar. De scapula neemt nog steeds het laterale deel van de dorsale thoraxwand in, waarbij het beenstuk door de zojuist genoemde spieren gedeeltelijk bedekt wordt. De margo vertebralis, de spina scapulae en het acromion zijn zonder moeite op te merken. Een duidelijke standverandering ten opzichte van de positie bij de hangende arm is nu opgetreden. De margo vertebralis is schuin gelegen van cranio-mediaal naar caudo-lateraal. De positie van de margo vertebralis zal in hoofdstuk IV nog nader geanalyseerd worden. Van de dorsale kant bezien bedraagt deze verplaatsing 20° - 30° . De door spieren bedekte angulus superior en inferior zijn gemakkelijk op te merken en door palpatie nauwkeurig te localiseren. De angulus superior is ten opzichte van de stand bij hangende arm naar caudaal en naar de wervelkolom verplaatst. Bij onze proefpersoon was de afstand tussen deze angulus en de wervelkolom ongeveer 5 cm. De angulus inferior is naar lateraal verschoven. Inspectie van zuiver lateraal toont de margo vertebralis in een nagenoeg verticale stand. De vooroverhellende stand, die de margo inneemt wanneer de arm langs het lichaam hangt, is dus opgeheven. Door de bovengenoemde verplaatsing van de angulus inferior is de helling van de spina van medio-caudaal naar latero-craniaal toegenomen. Het acromion aan het einde van de spina is omgeven door de gecontraheerde m. deltoideus, waardoor een juiste begrenzing van het beenstuk bemoeilijkt wordt. Wel kan worden vastgesteld, dat ook nu het vlak van het acromion naar ventro-craniaal oploopt. Een lijn door het acromion en de processus spinosus van C 7 loopt horizontaal. Dit betekent dus, dat het acromion naar craniaal is verplaatst. Daar de angulus superior naar mediaal verplaatst is, moet dit ook het geval zijn met het acromion. Aan de ventro-mediale zijde hiervan kan het acromiale einde van de clavicula worden gepalpeerd met de tussen beide beenstukken aanwezige gewrichtsspleet. Bij palpatie caudaal van het acromiale deel van de clavicula kan weer de vrije punt van de processus coracoideus worden gevonden. Inspectie en palpatie van de margo axillaris in deze stand was wederom bemoeilijkt door de zich ter plaatse bevindende spieren.

Palpatie van de clavicula wijst uit, dat het acromiale uiteinde tijdens de abductie van de arm naar medio-dorsaal en craniaal wordt verplaatst. De hoek van de clavicula met het horizontale vlak blijkt aan het einde van de beweging tweemaal zo groot te zijn namelijk ca. 30° . De hoek tussen beide claviculae bedraagt 80° - 90° , van elke clavicula met het frontale vlak ca. 50° . Hieruit blijkt dus duidelijk, dat het acromiale uiteinde naar achteren en naar craniaal is bewogen, hetgeen uiteraard met een mediale verplaatsing van het acromion gepaard gaat. Bij onderzoek van de twaalf proefpersonen werd gevonden, dat de hoek met het horizontale vlak varieerde tussen ca. 10° en ca. 30° . De hoek, die de clavicula met het frontale vlak maakt is vrijwel steeds ca. 50° .

In verband met de later te bespreken vraag of de scapulae bij de zijwaarts geheven armen in het frontale vlak gelegen zijn, werd de proefpersoon ook verzocht de schouderbladen naar de wervelkolom te trekken. Bij deze beweging worden de bovenarmen in geringe mate naar dorsaal verplaatst. De stand van de scapula ten opzichte van de thoraxwand heeft in zoverre een wijziging ondergaan, dat het beenstuk in zijn geheel dichter bij de wervelkolom gelegen is, terwijl de schuine stand van de margo vertebralis vrijwel niet is gewijzigd.

Als gevolg van het later te bespreken feit, dat bij de tot 90° geabduceerde en geëxoroteerde arm de scapula naar voren bewogen kan worden, verzochten wij de proefpersoon een dergelijke beweging ook nu uit te voeren. Het bleek onmogelijk de scapula bij stilstaande armen naar voren te bewegen.

Stand III. Maximale abductie tot ongeveer 90° met exorotatie

Zoals reeds eerder opgemerkt, kan de onderzochte persoon in de zojuist beschreven stand, de armen in het frontale vlak *niet verder abducen*, en de enig mogelijke beweging om vervolgens de maximale elevatiestand te bereiken is *exorotatie* van de arm. De stand van de arm ten opzichte van de romp zal hierbij veranderen, daar nu de onderarm met de bovenarm in het frontale vlak zal komen te liggen met de epicondylus medialis naar ventraal. Na deze beweging is aan de dorsale zijde van de thoraxwand in het spierrelief van de m. trapezius en de m. deltoideus weinig wijziging opgetreden, doch de m. teres major en de m. latissimus dorsi zijn duidelijk zichtbaar geworden. Als een oppervlakkige groeve is de scheiding tussen beide laatstgenoemde spieren zichtbaar. Door palpatie van de angulus inferior tijdens deze beweging van de arm wordt waargenomen, dat de scapula niet van stand verandert. Ook de stand van de clavicula ondergaat hierbij geen veranderingen.

De proefpersoon kan in deze stand de schouderbladen slechts in zeer geringe mate naar de wervelkolom trekken, waarbij de armen evenwijdig aan zichzelf naar dorsaal worden verplaatst en de lendenlordose versterkt wordt. Er blijkt bovendien nog een geheel andere beweging bij deze stand van de arm mogelijk, die bij een deel van de onderzochte personen kon worden waargenomen. Echter niet bij degene, van wie de tekeningen werden vervaardigd. Het was L a n d s m e e r en N a u t a (1950) opgevallen, dat *bij fixatie van de arm in de tot 90° geabduceerde en geëxoroteerde stand, de scapula naar voren bewogen kan worden*. De observatie werd bij intelligente jonge personen gedaan. Het bleek vaak nodig hen op deze mogelijkheid te wijzen, en het kostte enig oefenen, voordat zij deze beweging konden uitvoeren. De verplaatsing van de scapula moet gezien worden als het gevolg van een bewuste contractie van de m. serratus anterior, waardoor dit beenstuk naar lateraal en ventraal langs de thoraxwand wordt verschoven. Daarna kunnen de armen geheven worden, terwijl de scapula niet verder meer bewogen wordt. De zojuist genoemde verschuiving van de scapula had zover plaatsgevonden, dat de stand zoals bij maximale elevatie wordt ingenomen, bereikt was.

Daar de scapula en de clavicula dezelfde stand innemen als bij de maximaal geheven arm, zal een nadere beschrijving aldaar plaatsvinden.

Stand IV. Maximaal geheven stand van de arm (fig. 5 en 6)

Verder heffen van de armen bij 90° abductie en exorotatie waarbij de scapula niet bewust naar voren is getrokken, gaat gepaard met bewegen van de scapula en de clavicula, waarna de maximale elevatiestanden van de drie beenstukken worden bereikt. Zijn de armen maximaal geëleveerd, dan valt op, dat zij in geringe mate naar ventraal afwijken. Indien getracht wordt de armen verticaal te plaatsen, blijkt dit met een versterking van de lendenlordose gepaard te gaan. De epicondylus medialis wijst naar ventro-mediaal. Tijdens de heffing moet dus nog een voortgaande exorotatie hebben plaatsgevonden. Het vlak door beide epicondylhi humeri en de lengte-as gaat van medio-ventraal naar latero-dorsaal.

Nauwkeurige inspectie van het dorsale deel van de thoraxwand in de maximale elevatiestand leert, dat de spiercontouren van de reeds eerder genoemde spieren weer zijn waar te nemen. Op de m. teres major is eveneens de groeve zichtbaar, die de craniale begrenzing aangeeft van de eroverheen liggende m. latissimus dorsi. De thoracale wervelkolom bevindt zich ook thans weer enigszins in de diepte van het hele spierrelief.

De angulus inferior bevindt zich aan de caudo-laterale zijde van de thoraxwand. De margo vertebralis kan vanaf de angulus inferior naar craniaal en mediaal vervolgd worden. De hoek van deze margo met een verticale lijn is groter geworden. Deze bedraagt ca. 50° . Hierop zal in hoofdstuk IV nader worden ingegaan. De contour van de door spieren bedekte angulus superior is duidelijk zichtbaar en is ten opzichte van de vorige stand naar lateraal en caudaal verschoven. De afstand van deze angulus tot de wervelkolom bedraagt 6 cm. De spina loopt zeer steil op van medio-caudaal naar latero-craniaal. Het acromion omgeven door de sterk gecontraheerde m. deltoideus is moeilijk te palperen. Palpatie kan echter wel geschieden, wanneer de geheven arm wordt vastgehouden en de spieren ontspannen zijn. Dit leert, dat het acromiale vlak ook nu weer schuin oploopt van caudo-dorsaal naar cranio-ventraal. Een vlak gedacht door het linker en rechter acromion bevindt zich ongeveer één cm craniaal van de processus spinosus van C 7.

De clavicula maakt tijdens de bovenbeschreven verplaatsing van de scapula ook een standverandering door, die zich kenmerkt door een verplaatsing naar mediaal, dorsaal en craniaal van het acromiale einde. De hoek tussen beide claviculae is aanzienlijk kleiner geworden en bedraagt thans ca. 60° . Dit wil zeggen, dat elke clavicula afzonderlijk met het frontale vlak een hoek van ca. 60° maakt. Daarnaast maakt de clavicula een hoek met het horizontale vlak van ruim 30° . Tevens heeft een rotatie om de lengte-as plaatsgevonden, hetgeen geconstateerd kan worden aan de ventrale enigszins scherpe rand, welke naar craniaal verplaatst is. Bij onderzoek van de 12 proefpersonen werden genoeg dezelfde waarden gevonden, met dit verschil, dat de hoek met het horizontale vlak weer duidelijke schommelingen toonde tussen ca. 10° en ca. 30° .

De zojuist beschreven standen van de clavicula en scapula worden dus gevonden, wanneer de arm maximaal geheven is. Ze komen ook voor, wanneer bij de tot 90° geabduceerde en geëxoroteerde arm de scapula bewust naar voren wordt getrokken.

B. *Beschrijving van röntgenfoto's van bovengenoemde standen*

Deze foto's werden dorso-ventraal opgenomen bij andere proefpersonen, eveneens tussen 18 en 25 jaar. Van elke persoon werden twee foto's vervaardigd.

Het materiaal, waarover de beschrijving gegeven wordt, bestaat uit:

de armen hangend langs het lichaam:

stand I: 2 foto's:

dezelfde stand van de armen, de schouderbladen naar de wervelkolom

getrokken:

3 „ ;

de armen maximaal geabduceerd zonder rotatie:	stand II: 12 foto's;
dezelfde stand van de armen, de schouderbladen naar de wervelkolom getrokken:	7 „ ;
abductie onveranderd met exorotatie van 90°:	stand III: 8 „ ;
dezelfde stand van de armen, de schouderbladen zover mogelijk naar voren getrokken:	10 „ ;
de maximaal geheven arm:	stand IV: 8 „ .

Stand I. De armen langs het lichaam (fig. 7)

De lengte-as van de humerus bevindt zich hierbij met de beide epicondyli in het frontale vlak. Aan het craniale deel van de humerus kan zonder veel moeite het caput met beide tubercula onderscheiden worden. Deze laatste zijn naast elkaar geprojecteerd evenwijdig aan de lengte-as van de humerus, waarbij het tuberculum majus aan de latero-craniale zijde van de humerus en het tuberculum minus iets mediaal hiervan wordt gevonden, terwijl het caput humeri cranio-mediaal is gelegen.

Op het projectiebeeld van de scapula, ongeveer driehoekig van vorm, is de margo vertebralis evenwijdig aan en op enige afstand van de wervelkolom aan te wijzen, benevens de aan de laterale zijde schuin oplopende margo axillaris, terwijl aan de craniale zijde de angulus superior, de spina scapulae, het acromion en de processus coracoideus gevonden worden. De spina scapulae van medio-caudaal in geringe mate naar lateraal schuin oplopend, kruist het craniale deel van de ovaalvormige cavitas glenoidalis en eindigt daarna in het acromion. Aan de processus coracoideus onderscheiden wij het vrije deel en de basis. De basis vormt de verbinding van het vrije deel met de rest van de scapula. Zij worden beide op de spina geprojecteerd en zijn mediaal van de cavitas glenoidalis gelegen. De cavitas glenoidalis aan de laterale zijde van de driehoek, is ovaalvormig en de lengte-as loopt min of meer evenwijdig aan de margo vertebralis. Het caudale deel van de humerusbol is tegenover de cavitas glenoidalis gelegen. De clavicula projecteert zich, begrensd door twee bijna evenwijdig verlopende lijnen nagenoeg craniaal van de scapula en is tegen de mediale zijde van het acromion gelegen. Aan het sternale einde divergeren de horizontale lijnen enigszins en worden afgesloten door een verticale gekromde lijn. Aan het acromiale einde lopen de lijnen meestal evenwijdig, terwijl een nu eens schuinlopende dan weer verticale lijn dit gebied afsluit. Deze evenwijdige lijnen zijn op de ene foto min of meer horizontaal gelegen, doch op de andere gaan zij van het sternum naar latero-craniaal en maken een hoek met een horizontale lijn van ca. 30°.

Wanneer aan de onderzochte persoon gevraagd wordt de scapula naar de wervelkolom te trekken, terwijl de arm langs het lichaam hangt, toont een hiervan vervaardigde röntgenfoto (fig. 8) een ongeveer identiek beeld als figuur 7. *Alleen de projectie van het vrije deel van de processus coracoideus is langer. Dit is vooral duidelijk, indien gezien ten opzichte van de cavitas glenoidalis. In deze gevallen projecteert het vrije deel van de processus zich niet alleen mediaal doch ook lateraal van de cavitas.* De evenwijdige lijnen van de projectie van de claviculae zijn in deze gevallen min of meer horizontaal gelegen.

Stand II. De armen 90° geabduceerd in een frontaal vlak zonder rotatie (fig. 9 en 10)

Bij het bestuderen van deze groep röntgenfoto's valt op, dat hoewel de humerus steeds dezelfde stand inneemt, dit geenszins gezegd kan worden van scapula en clavicula. De lengte-as van de tot 90° geabduceerde humerus is horizontaal. Medio-caudaal bevindt zich het caput humeri. Het op de projectie meest centraal gelegen deel van het caput bevindt zich tegenover de cavitas glenoidalis. Aan de craniale zijde wordt het tuberculum majus en even er onder de projectie van het tuberculum minus gezien. De margo vertebralis scapulae loopt van medio-craniaal naar latero-caudaal en is dus ten opzichte van de vorige foto's (fig. 7 en 8) van stand veranderd. Ook de andere delen van de scapula zijn verplaatst. De margo axillaris zal nog steeds een schuine stand innemen van caudo-mediaal naar cranio-lateraal, doch deze lijn is thans steiler dan bij de hangende arm. Ook de spina scapulae loopt steiler en bedekt met zijn voortzetting naar het acromion het craniale deel van de cavitas glenoidalis. De cavitas glenoidalis is ook thans weer ovaalvormig geprojecteerd. Het acromion wordt nooit op het overige deel van de scapula geprojecteerd en gedraagt zich dus op de foto steeds als een uitsteeksel. Echter zullen op de foto's wel acromion en humerusbol op elkaar geprojecteerd worden.

Het projectiebeeld van de processus coracoideus is mediaal van de cavitas glenoidalis gelegen. De basis en het vrije deel kunnen weer worden onderscheiden: dit laatste is verkort en de lengterichting is vrijwel steeds schuin oplopend van mediaal naar lateraal. De basis en het vrije deel van de processus coracoideus zijn in het merendeel der gevallen geheel of gedeeltelijk op de spina geprojecteerd, doch er zijn ook foto's, waarop de processus coracoideus in zijn geheel craniaal van de spina is gebleven. Het bekijken van de scapula op de door ons gemaakte röntgenfoto's bij dezelfde stand van de arm, toont dus

duidelijk aan, dat de projectie van spina en processus coracoideus ten opzichte van elkaar nog al eens wisselend kan zijn.

Bij de bestudering van de clavicula, welke steeds zichtbaar is op de foto's, nu eens ten dele, dan weer in zijn geheel, afhankelijk van de grootte van de gebruikte films, valt eveneens een verscheidenheid van standen op. In het algemeen bestaat het projectiebeeld van de clavicula uit twee bijna evenwijdig lopende lijnen, mediaal gelegen van het acromion, afgesloten aan het acromiale einde door een lijn, die nu eens verticaal, dan weer schuin gelegen is. Het sternale einde, dat dus af en toe zichtbaar is, heeft een trompetvormig schaduwbeeld, dat wil zeggen, dat op verscheidene foto's de evenwijdige lijnen een weinig divergeren om afgesloten te worden door een bijna verticale lijn, die iets gekromd is. Aan het acromiale deel is een kleine verhevenheid zichtbaar aan de caudale zijde. Nu eens is dit gedeelte zeer duidelijk zichtbaar, andere malen echter slechts in zeer geringe mate als een kleine verhevenheid, de plaats dus van de tuberositas coracoidea.

De hoek, die de evenwijdige lijnen van de clavicula maken met een horizontale lijn is wisselend van grootte en schommelt tussen ca. 0° en ca. 30° . Dat af en toe ook de tuberositas coracoidea zichtbaar is, moet wijzen op een geringe draaiing om de lengte-as van de clavicula.

Op de foto's, gemaakt nadat de proefpersoon met zijwaarts geheven armen zonder rotatie, verzocht werd de schouderbladen naar de wervelkolom te trekken, blijkt, dat het projectiebeeld van scapula en clavicula slechts weinig is veranderd. De processus coracoideus wordt nu ook even lateraal van de cavitas geprojecteerd en het gehele scapulaire beeld is dicht bij de wervelkolom gelegen. Dit klopt dus met het bij inspectie gevonden feit, dat de scapula ten opzichte van de thoraxwand van plaats is veranderd en dicht naast de wervelkolom is gelegen.

Stand III. Armen tot 90° geabduceerd met exorotatie (fig. 11)

Vervolgens willen wij nagaan, welke veranderingen verkregen worden, nadat de tot 90° geabduceerde arm geëxoroteerd is, waarbij dus onder- en bovenarm beide in een frontaal vlak zijn gelegen en de lengte-as van de humerus met de beide epicondyli zich in een horizontaal vlak bevindt.

Bij inspectie bleek reeds, dat de scapula en de clavicula nauwelijks van stand veranderd zijn, zolang de m. serratus anterior niet bewust is aangespannen. Op het projectiebeeld van deze stand (fig. 11) is de lengte-as van de humerus horizontaal gelegen. Het caput humeri bevindt zich aan de mediale zijde, de tubercula zijn aan de craniale zijde zichtbaar. Het tuberculum minus steekt

thans het meest naar craniaal uit, terwijl het tuberculum majus enigszins caudaal ten opzichte hiervan is gelegen. Het projectiebeeld van de humerus is dus duidelijk veranderd. De verhouding van het caput humeri ten opzichte van de cavitas glenoidalis is dezelfde gebleven.

De scapula daarentegen laat geen essentiële veranderingen zien ten opzichte van de bovenbeschreven stand (fig. 9 en 10) en evenmin zijn aan de stand van de clavicula veranderingen op te merken.

Ingrijpend zal pas *de stand van de scapula veranderen*, wanneer wij de proefpersoon verzoeken, *de scapulae naar voren te trekken, dat wil zeggen naar ventraal te verplaatsen door bewust aanspannen van de m. serratus anterior*, terwijl de armen in dezelfde stand zullen blijven (fig. 12). Het projectiebeeld van de humerus zal hierbij dus niet veranderen (fig. 11). Ook de plaats van het caput humeri ten opzichte van de cavitas glenoidalis is ongewijzigd. Op het projectiebeeld van de scapula valt op, dat de margo axillaris een verticale, soms naar medio-craniaal hellende, stand inneemt. De spina loopt steiler dan tevoren naar lateraal op, terwijl juist de margo vertebralis minder steil dan tevoren, een stand van latero-caudaal naar medio-craniaal blijkt in te nemen. De spina, in zijn voortzetting naar het acromion, kruist in de meeste gevallen het craniale deel en een enkele maal het caudale deel van de ovaalvormige cavitas glenoidalis. Het acromion gedraagt zich weer als een uitsteeksel. Belangrijke veranderingen hebben zich voorgedaan in het projectiebeeld van de processus coracoideus en zijn verhouding tot de spina scapulae. *De basis en het vrije deel zijn aan de margo superior mediaal van de cavitas glenoidalis op te merken. Zij zijn geheel vrij van het overige deel van de scapula geprojecteerd, waardoor het beeld van een kromme uitstekende tand is ontstaan.* De lengte-as van het vrije deel is verkort zichtbaar, en de richting hiervan is schuin naar lateraal oplopend.

Ook aan de clavicula zijn duidelijke veranderingen waarneembaar. Was het beeld tot nu toe gekenmerkt door twee bijna rechte evenwijdige lijnen met een kleine oneffenheid ter hoogte van de tuberositas coracoidea thans is een S-vormige kromming opgetreden, waarvan doorgaans het acromiale gedeelte het meest naar craniaal en het sternale deel caudaal gelegen is. Aan de onderzijde van het acromiale einde is de tuberositas zichtbaar. In die gevallen, waarbij de clavicula geheel zichtbaar is, is een duidelijke verkorting van het beenstuk in medio-laterale richting waarneembaar.

Stand IV. De armen maximaal geheven (fig. 13)

Figuur 13 geeft een afbeelding van de maximaal geheven arm. Zoals uit de

inspectie reeds bleek is hierbij te verwachten, dat de stand van de scapula zoals beschreven bij figuur 12, niet meer zal veranderen. Op de gemaakte röntgenfoto's is dit duidelijk zichtbaar; de vorm van de scapula is identiek aan die beschreven in de vorige stand (fig. 12). Het beeld van de humerus heeft daarentegen nog belangrijke wijzigingen ondergaan. De heffing is verder voortgeschreden, de lengte-as is bijna verticaal van latero-craniaal naar medio-caudaal. Het latero-caudale einde wordt ingenomen door het caput humeri. Ook de verhouding van het tuberculum majus en minus heeft zich nog gewijzigd. Aan de mediale zijde van de humeruskop steekt het tuberculum minus uit, terwijl het tuberculum majus lateraal hiervan en op het caput humeri geprojecteerd wordt. Over de verhouding van de humerusbol ten opzichte van de cavitas glenoidalis, kan worden opgemerkt, dat het in deze projectie als craniaal zich voordoende gedeelte van de bol gelegen is tegenover de cavitas glenoidalis. Daar de clavicula niet van stand veranderd is volgens de inspectie, is te verwachten, dat op de röntgenfoto hetzelfde beeld te zien is zoals op figuur 12 werd beschreven, hetgeen ook inderdaad gevonden wordt.

In het bovenstaande werden door middel van inspectie de bewegingen nagegaan, welke door humerus, scapula en clavicula worden uitgevoerd tijdens het zijwaarts heffen van de arm, wanneer abductie en exorotatie na elkaar plaatsvinden.

Na eerst een nauwkeurige beschrijving gegeven te hebben van de uitgangsstand, met name de hangende arm langs het lichaam, volgden de standen, die aan het einde van elke beweging worden ingenomen. Het zijn dus de standen, die optreden wanneer de arm 90° geabduceerd is zonder en met rotatie, en de eindstand bij maximale elevatie. Deze standen werden ook röntgenologisch vastgelegd.

Het door Martin, Codman en Lee McGregor beschreven feit, dat de exorotatie een noodzakelijk onderdeel is bij het zijwaarts heffen, zagen wij duidelijk gedemonstreerd. Was de exorotatie achterwege gebleven, dan bedroeg de maximale elevatiestand in het frontale vlak niet meer dan 90° . Het werd door middel van de inspectie en het röntgenonderzoek duidelijk, dat niet alleen de humerus doch ook de scapula en de clavicula de eindstand zoals bij maximale elevatie voorkomt niet konden bereiken. Na exorotatie kan de arm geheven worden en kunnen de drie beenstukken de stand zoals bij maximale elevatie voorkomt bereiken. Indien de tot 90° geabduceerde en geëxoroteerde arm in deze stand wordt vastgehouden, bleek zelfs, dat scapula en clavicula de eindstand toch konden bereiken. Het is dus duidelijk, dat de exorotatie van

de humerus een belemmering in de voortgaande beweging van scapula en clavicula opheft. Humerus en scapula zijn door middel van een kapsel met elkaar verbonden, terwijl er geen enkele ligamenteuze verbinding tussen humerus en clavicula bestaat. Het is daardoor aannemelijk de belemmering, die door de exorotatie wordt opgeheven, te localiseren in hetgeen scapula en humerus met elkaar verbindt: *de kapsel*. Of hierbij een extra-capsulair gelegen belemmering in de vorm van het ligamentum coracoacromiale ook nog een rol speelt, kan voorshands niet worden uitgesloten. Deze zienswijze werd door Martin en Lee McGregor verdedigd. De humerus is niet direct met de clavicula verbonden, er kan dus geen rechtstreekse belemmering door de humerus op de bewegingen van de clavicula worden uitgeoefend. De scapula is daarentegen zowel met de humerus als met de clavicula verbonden. Het uitblijven van de exorotatie van de humerus belemmert de voortgaande beweging van de scapula en van de clavicula. De exorotatie van de humerus maakt voortgaande beweging tot de eindstand van de beide beenstukken mogelijk. Daar de humerus alleen de verandering in stand van de scapula kan bewerkstelligen, zal de scapula op zijn beurt door van stand te veranderen de belemmering, waardoor de clavicula de eindstand niet kan bereiken, opheffen.

De scapula oefent een invloed uit op de bewegingen van de clavicula. De invloed van de humerus op de bewegingen van de clavicula zal dus via de scapula plaatsvinden. De belemmering door de scapula uitgeoefend op de voortgaande beweging van de clavicula zal dus of in het gewricht of in het ligamentum coracoclaviculare of in beide gezocht moeten worden.

Hiermee is wel duidelijk gedemonstreerd, dat tijdens het zijwaarts heffen er een nauwe samenhang is tussen de bewegingen van de drie beenstukken.

De reeds verkregen gegevens over de standen van de beenstukken konden door middel van het röntgenonderzoek nog verder worden aangevuld. Immers, van de humerus werd nu ook het caput met beide tubercula zichtbaar, en van de scapula de cavitas glenoidalis, de processus coracoideus en de margo axillaris, en van de clavicula het acromiale uiteinde met de tuberositas coracoidea. In het volgende hoofdstuk zal op de betekenis van deze bevindingen nader worden ingegaan.

HOOFDSTUK IV

De plaats van de humerus, de scapula en de clavicula in de ruimte tijdens het zijwaarts heffen

De ligging van een beenstuk is bepaald door drie punten, die niet op een rechte lijn zijn gelegen, dus door een lijn en een punt. De inspectie en de palpatie, zoals beschreven in hoofdstuk III, verschaft ons van elk beenstuk zoveel gegevens, dat hun ligging in de ruimte daardoor bepaald kan worden. Aan de humerus konden wij steeds de lengte-as en beide epicondylen vaststellen, aan de scapula de margo vertebralis, de spina en het acromion en bij de clavicula behalve de stand van het craniale vlak ook de ligging tussen sternum en acromion. Hierdoor kan een losse humerus, scapula of clavicula in die stand worden geplaatst, zoals ook bij de levende mens voorkomt. De op deze wijze verkregen standen van het losse beenstuk willen wij op hun juistheid toetsen. Dit kan geschieden door de nagebootste stand van het beenstuk te vergelijken met de röntgenfoto's, die bij de levenden van dezelfde stand reeds waren vervaardigd. Een röntgenfoto is evenwel een projectiebeeld. Dit is voor de humerus geen bezwaar, daar tijdens het zijwaarts heffen dit beenstuk bijna steeds in een frontaal vlak is gelegen evenwijdig aan het röntgenschermbild. Het caput humeri en de tubercula zullen dus op elkaar worden geprojecteerd en er zal geen vervorming van de onderdelen op de foto optreden en de vergelijking zal zonder moeite mogelijk zijn. De scapula en de clavicula maken daarentegen een hoek met het frontale vlak, zijn dus niet evenwijdig aan het projectieschermbild, waardoor wel vormveranderingen zullen optreden. Een directe vergelijking van de stand van het losse beenstuk met de röntgenfoto wordt daardoor bemoeilijkt. Ook de ingewikkelde bouw van de scapula vormt een belemmering bij de interpretatie.

Wij zullen daarom bij de scapula en de clavicula op de volgende wijze te werk gaan. Eerst zal een losse scapula of clavicula in de standen zoals bij de

levende mens voorkomen, worden geplaatst. Vervolgens zullen wij van deze beenstukken de verkregen standen ten opzichte van het frontale vlak beschrijven om daarna te onderzoeken, welke veranderingen het projectiebeeld op dit vlak hierbij zal ondergaan. Deze veranderingen zullen aan de hand van röntgenfoto's en tekeningen worden gedemonstreerd. De nu verkregen beelden kunnen vergeleken worden met de van levenden vervaardigde röntgenfoto's.

Bij de vier reeds genoemde en beschreven standen, die tijdens het zijwaarts heffen voorkomen (hoofdstuk III) zal de plaats in de ruimte van de losse beenstukken worden nagegaan.

Stand I. De arm hangend langs het lichaam

H u m e r u s

De stand van de humerus is volledig bepaald door de lengte-as en beide epicondyli. Gezien de gegeven opdracht aan de proefpersoon, staat de lengte-as verticaal en ligt tezamen met de epicondyli in het frontale vlak. De epicondylus medialis is daarbij mediaal gelegen. Het caput humeri is naar medio-dorso-craniaal gekeerd. Het tuberculum majus bevindt zich aan de laterale zijde en het tuberculum minus aan de voorzijde. Op de bij deze stand behorende röntgenfoto's is te constateren, dat het caput humeri als een kap het medio-craniale deel inneemt, terwijl het tuberculum majus latero-craniaal en het tuberculum minus meer naar mediaal worden geprojecteerd.

S c a p u l a

Bij de beschrijving van de stand van de scapula tijdens de inspectie werd vooral gelet op de margo vertebralis, het acromion en de spina (hoofdstuk III). Hierdoor is het mogelijk om een los beenstuk in dezelfde stand in de ruimte te plaatsen.

Tien willekeurig gekozen scapulae werden met elkaar vergeleken en bleken duidelijk onderlinge verschillen te tonen. Voor een uitvoerig onderzoek over deze variaties van de vorm van de scapula zij verwezen naar Olivier en Pineau (1957). Voor ons onderzoek is vooral van belang, dat het vrije deel van de processus coracoideus bij verticaal staande scapula met de margo vertebralis verticaal, in enkele gevallen horizontaal staat en meestentijds enigszins naar caudaal wijst, doch nooit naar boven uitsteekt.

Wij gaan voorlopig van de veronderstelling uit, dat de margo vertebralis bij

de door ons onderzochte personen verticaal staat. Bij de nabootsing beginnen wij met de margo vertebralis van een losse scapula in een verticale stand te plaatsen en het scapulaire vlak — het vlak door de margo axillaris en vertebralis — in een frontaal vlak. Omdat bij de inspectie van onze proefpersoon duidelijk bleek, dat het acromion ventraal ten opzichte van de margo vertebralis staat, moet men de scapula met het laterale deel naar ventraal draaien. Deze rotatie is over ongeveer 30° nodig. Ook in de literatuur wordt beschreven, dat de scapula bij de arm hangend langs het lichaam met het frontale vlak een hoek van ongeveer 30° maakt. Door *Steinhausen* wordt een getal van 20° genoemd, door *R. Fick* 30° . Daar bij inspectie en palpatie ook opgemerkt werd, dat de margo vertebralis iets voorover helt, moet de scapula nog 10° - 15° voorovergekanteld worden (fig. 2).

Wij zullen nu nagaan welk beeld deze nagebootste stand van de scapula op het projectiescherm geeft. Begonnen wordt de scapula in een frontaal vlak te plaatsen evenwijdig aan het projectiescherm met de margo vertebralis verticaal (fig. 14a). Op deze tekening bevindt de scapula zich in een kubus, het scapulaire vlak wordt gearceerd aangegeven. Dit vlak is frontaal gelegen, op geringe afstand van en evenwijdig aan het achtervlak van de kubus. Het achtervlak van de kubus doet dienst als projectiescherm en is op ongeveer 50 cm van het oog van de tekenaar verwijderd. Ook kunnen röntgenfoto's van de losse scapula vervaardigd worden, waarbij de scapula in het eerdergenoemde frontale vlak evenwijdig aan de röntgenplaat staat, terwijl de buis zich op 75 cm afstand hiervan bevindt.

Op de van deze stand vervaardigde tekening (fig. 14b) van de losse scapula wk.nr. 2725 wordt de margo vertebralis in verticale stand met beide anguli opgemerkt, vervolgens de margo axillaris en de spina scapulae beide schuin naar lateraal oplopend en de laatstgenoemde eindigend in het acromion. De processus coracoideus, waaraan de basis en het vrije deel onderscheiden worden, wordt op de spina en het acromion geprojecteerd. De cavitas glenoidalis aan het craniale einde van de naar lateraal oplopende margo axillaris is ovaalvormig. De lengte-as hiervan, min of meer in het scapulaire vlak gelegen, wijst in cranio-mediale richting. Het vrije deel van de processus coracoideus bevindt zich zowel mediaal als lateraal van de cavitas. Eenzelfde projectiebeeld zien wij ook op een van deze stand vervaardigde röntgenfoto (fig. 14c), waarvoor de losse scapula Ba 238 werd gebruikt. Ook bij nabootsing van deze stand aan 10 losse willekeurig gekozen scapulae konden wij op het oog deze verhoudingen steeds terugvinden.

Het is wel duidelijk, dat een zodanige stand van de scapula nooit gevonden

wordt op de dorso-ventrale röntgenfoto's, die wij bij levenden maakten. Dit is geheel in overeenstemming met onze door inspectie verkregen bevinding; immers de scapula is *niet* in het frontale vlak gelegen, doch maakt hiermee een hoek. De stand, die een scapula hierbij in een kubus inneemt, wordt op figuur 15a afgebeeld. De volgende veranderingen treden op, indien de scapula in een verticaal vlak met het laterale deel naar ventraal wordt verplaatst. Het laterale deel van de scapula zal dichterbij het projectiescherm komen, terwijl de margo vertebralis zijn verticale stand behoudt. Wij zien op de in deze stand vervaardigde tekening (fig. 15b), waarbij de scapula een hoek van 40° maakt met het frontale vlak een verkorting van de processus coracoideus en een vormverandering van het acromion in de zin van een afplatting optreden. De afstand tussen de margo vertebralis en axillaris wordt kleiner. De processus coracoideus en het acromion worden niet meer op, doch naast elkaar geprojecteerd. Hoe verder de scapula om de margo vertebralis in deze zin zwenkt, des te verder zullen beide uitsteeksels *uit elkaar* gedraaid worden. Wij merken op, dat het vrije deel van de processus mediaal van de cavitas glenoidalis op de spina is gelegen, wanneer de scapula een hoek van 40° maakt met het frontale vlak. Ook op de door ons vervaardigde röntgenfoto's van de losse scapula Ba 238, die achter-eenvolgens een hoek van 30° en 40° maakt met het frontale vlak, zijn deze verschijnselen duidelijk waar te nemen (resp. fig. 15c en 15c₁). Bij de verticaal staande scapula is de lengte van de processus coracoideus op de röntgenfoto dus een aanwijzing voor de hoek, die dit beenstuk met het frontale vlak maakt. De lengterichting van het vrije deel van de processus is op al deze foto's van medio-craniaal naar latero-caudaal.

Bij inspectie van de hangende arm bleek, dat de scapula enigszins naar voren was gekanteld. Bij het naar voren kantelen van een scapula gelegen in het *frontale* vlak en steunend op de angulus inferior, zullen alle punten op het beenstuk, behoudens het steunpunt, naar ventraal worden verplaatst. De punten gelegen in het scapulaire vlak of er vóór (dus de processus coracoideus) zullen niet alleen naar ventraal, doch ook naar caudaal worden bewogen. De punten gelegen aan de dorsale zijde van het scapulaire vlak (spina en acromion) zullen niet alleen naar ventraal, doch aanvankelijk ook naar craniaal worden verplaatst. Door de verplaatsing van de processus coracoideus naar caudaal en van de spina en het acromion naar craniaal, zullen zij ten opzichte van een verticaal vlak in cranio-caudale richting uit elkaar gaan. Zij worden dus ook op het verticaal staande röntgenscherm uit elkaar geprojecteerd. In het projectiebeeld zal de processus coracoideus iets meer caudaal van het acromion komen te liggen. De mate van deze verschuiving is afhankelijk van de hoek waarover de kan-

teling heeft plaatsgevonden. Indien de scapula naar dorsaal wordt gekanteld, zal een proces in tegengestelde richting plaatsvinden en zal de processus coracoideus aanvankelijk naar craniaal worden verplaatst.

In werkelijkheid zal een kanteling naar ventraal niet plaatsvinden, terwijl de scapula zich in een frontaal vlak bevindt, doch wanneer de scapula tegelijkertijd een hoek met het frontale vlak maakt, zoals zichtbaar is in figuur 16a. Op de tekening (fig. 16b) vervaardigd, nadat de scapula wk. nr. 2725, behalve een hoek van ongeveer 40° met het frontale vlak te maken bovendien 15° voorovergekanteld is, kunnen wij deze verschijnselen duidelijk opmerken. De processus coracoideus is naar caudaal verplaatst en wordt bijna geheel op de spina geprojecteerd, het acromion is naar craniaal verplaatst en zijn projectie is afgeplat.

Ook röntgenologisch kon dit worden aangetoond. Dit wordt duidelijk gedemonstreerd door vergelijking van twee foto's (fig. 15c en 16c). In deze gevallen maakt de scapula een hoek van ongeveer 30° met het frontale vlak. In het ene geval (fig. 15c) bevond hij zich in een verticaal vlak met de margo vertebralis verticaal; in het andere geval (fig. 16c) was het scapulaire vlak bovendien 15° naar voren gekanteld. In beide gevallen was op de foto de processus coracoideus verkort. Bij de kanteling naar voren werd de processus ook iets verder naar caudaal op de spina geprojecteerd. Hierbij blijkt, dat bij een kanteling naar voren van ca. 15° een geringe doch duidelijke verandering in het projectiebeeld van de processus coracoideus ten opzichte van de spina te zien is in vergelijking met de tekening en foto zonder kanteling. Indien de zojuist verkregen gegevens vergeleken worden met de röntgenfoto's vervaardigd van onze proefpersonen is, afgezien van enige kleine verschillen, een duidelijke overeenkomst op te merken. Eenzelfde patroon is steeds aanwezig.

Wij kunnen hieruit dus besluiten, dat de scapula bij de arm hangend langs het lichaam een hoek maakt met het frontale vlak, die weliswaar wisselend van grootte, om en nabij 30° bedraagt. De scapula is in het merendeel der gevallen over 10° - 15° voorovergekanteld. De margo vertebralis staat in dorsaal aanzicht steeds verticaal.

Op de foto's gemaakt nadat aan de onderzochte personen gevraagd was de schouderbladen naar de wervelkolom te trekken, was de projectie van de processus coracoideus langer dan bij hen, waarbij de gebogen arm ontspannen langs het lichaam hangt. Het vrije deel van de processus coracoideus bevindt zich hierbij niet alleen mediaal maar ook lateraal van de cavitas glenoidalis. Na het bovenstaande is dit verschijnsel duidelijk. Daar de lengte van de projectie van de processus een indicatie is voor de grootte van de hoek tussen de scapula

en het frontale vlak en deze projectie langer is dan bij de arm ontspannen hangend langs het lichaam, moet deze hoek kleiner zijn geworden. De scapula is dichter naar de wervelkolom getrokken, waar de kromming van de thoraxwand geringer is, zodat de hoek tussen dit beenstuk en het frontale vlak ook inderdaad kleiner is geworden. De stand, waarbij de projectie van de processus coracoideus identiek is aan het beeld zoals wordt gevonden, wanneer de scapula in het frontale vlak is gelegen, werd hierbij echter niet bereikt. De scapula blijft dus ook, wanneer de hangende armen naar de wervelkolom zijn getrokken nog een hoek maken met het frontale vlak.

Clavicula

Door de gegevens verkregen bij inspectie, kon de stand van de clavicula nauwkeurig bepaald worden. Bij de uitvoerig onderzochte en beschreven persoon in hoofdstuk III is het acromiale einde ten opzichte van het sternale deel enigszins naar craniaal verplaatst, waardoor de clavicula een hoek van 15° met het horizontale vlak maakt. Bovendien bleek, dat de clavicula niet in een frontaal vlak is gelegen, doch een hoek van ca. 30° hiermee maakt. Bij inspectie van de andere proefpersonen werd opgemerkt, dat de clavicula niet altijd een hoek maakt met het horizontale vlak. Er kan ook gevonden worden, dat de clavicula horizontaal ligt.

Bij röntgenologische controle van de losse clavicula kan het volgende worden opgemerkt. Wanneer van de horizontaal gelegen clavicula met het sternale deel in het frontale vlak een röntgenfoto vervaardigd wordt, betekent dit, dat op het projectiebeeld twee nagenoeg evenwijdige lijnen worden gevonden, met alleen een verbreding aan het sternale eind. Indien de clavicula in deze stand een hoek gaat maken met het horizontale vlak, zal het projectiebeeld nog hetzelfde zijn, doch alleen een andere plaats innemen. De lengte van de clavicula zal dezelfde blijven als in de horizontale stand. Wordt daarentegen een hoek gemaakt met het frontale vlak, dan zal de clavicula verkort worden geprojecteerd. Deze verkorting is een maat voor de hoek, die met het frontale vlak wordt gemaakt.

Bij draaiing van de in het frontale vlak zich bevindende clavicula om de lengte-as, waarbij het craniale vlak naar dorsaal gaat, zal het projectiebeeld veranderen en zal afhankelijk van de hoek waarover de draaiing plaatsvindt, een min of meer S-vormige projectie zichtbaar worden, terwijl aan de onderkant van het acromiale einde de tuberositas coracoidea zichtbaar wordt. Indien in deze stand de clavicula een hoek gaat maken met het horizontale vlak, blijft

het projectiebeeld hetzelfde. Wanneer in deze stand de clavicula ook een hoek gaat maken met het frontale vlak zal een duidelijke verkorting van het reeds S-vormige projectiebeeld optreden.

Bij het opnieuw bestuderen van de röntgenfoto's van de arm hangend langs het lichaam, met de scapula al dan niet naar de wervelkolom getrokken, bleek de clavicula zichtbaar te zijn als twee evenwijdige soms horizontale, soms schuin oplopende lijnen, terwijl bij enkele personen de tuberositas reeds even zichtbaar wordt. Dit betekent, dat de clavicula of in een horizontaal vlak gelegen is met het craniale vlak naar boven gericht of een hoek maakt met het horizontale vlak, terwijl bij enkelen ook een geringe draaiing om de lengte-as is opgetreden. Uiteraard wordt een hoek gemaakt met het frontale vlak, waarvan de grootte op de foto niet kan worden bepaald. Deze bevindingen zijn dus in overeenstemming met onze inspectie.

Tenslotte wordt op figuur 20 het beeld gevonden van de schoudergordel bij de hangende arm. De standen van de humerus en de scapula zijn hierboven uitvoerig beschreven. De stand van de clavicula werd verkregen door een gemiddelde te nemen van de op de röntgenfoto's van levenden waargenomen standen. De clavicula maakt hierbij een hoek van ca. 10° met het horizontale vlak, ca. 30° met het frontale vlak en is nog niet om de lengte-as gedraaid.

Stand II. De arm is zonder rotatie in een frontaal vlak 90° geabduceerd

Humerus

In deze stand van de arm bleek, dat de humerus met de lengte-as en beide epicondylus in een frontaal vlak werd geplaatst. De lengte-as bevindt zich hierbij in een horizontale stand. De epicondylus medialis wijst naar caudaal. Aan een losse humerus kunnen wij weer het craniale deel inspecteren en opmerken, dat het caput humeri naar dorsaal, mediaal en caudaal wijst, terwijl het tuberculum majus naar craniaal is gericht en het tuberculum minus aan de voorzijde zichtbaar is. Op de bij deze stand behorende röntgenfoto's van levenden zijn deze onderdelen duidelijk te onderscheiden (fig. 9 en 10). Het tuberculum majus is craniaal ten opzichte van het tuberculum minus gelegen en het caput humeri is als een kap medio-caudaal zichtbaar.

Scapula

Door de tijdens de inspectie en de palpatie verkregen kennis omtrent de

plaats van de margo vertebralis, de spina en het acromion zal het ons mogelijk worden een losse scapula in eenzelfde stand te plaatsen. Een losse scapula wordt hiertoe eerst weer in een frontaal vlak met de margo vertebralis verticaal geplaatst en daarna zodanig gedraaid in het scapulaire vlak, dat de margo vertebralis eenzelfde schuine stand gaat innemen als bij de levende mens. Deze draaiing moet zover plaatsvinden, totdat de margo vertebralis een hoek van ca. 20° maakt met een lijn in verticale richting. Daar bij de onderzochte personen het acromion ventraal is gelegen ten opzichte van de margo vertebralis, moet het laterale deel van de scapula ook naar ventraal geroteerd worden. De scapula blijft hierbij in een verticaal vlak. Wanneer de scapula een hoek van ca. 40° met het frontale vlak maakt lijkt de stand van het acromion identiek aan die bij de levenden.

In figuur 17a wordt de scapula in de zojuist genoemde stand in een kubus afgebeeld. Bij de reconstructie van het projectiebeeld, hetzij op de achterwand van de kubus, hetzij op het röntgenscherf, zal eerst de scapula weer in het frontale vlak geplaatst worden. Al kunnen wij in dit vlak, evenwijdig aan het projectiescherf, de scapula op allerlei manieren plaatsen, op het projectiescherf zullen altijd de onderdelen ten opzichte van elkaar dezelfde stand blijven innemen. Dus ook wanneer de margo vertebralis een hoek van ca. 20° maakt met een verticale lijn, zoals op figuur 19b wordt gedemonstreerd (vervaardigd van scapula wk.nr. 2725). Hierbij is de angulus inferior naar lateraal verplaatst; de spina en de margo axillaris lopen steiler op. De lengte-as van het vrije deel van de processus coracoideus gaat nu van medio-caudaal naar latero-craniaal. De processus coracoideus en het acromion zijn en blijven nog op elkaar geprojecteerd. Om de stand zoals bij levenden voorkomt te bereiken, zal vervolgens een draaiing van de scapula om een verticale as moeten optreden naar ventraal. Na deze draaiing, die over 40° plaatsvindt en waarbij de scapula in een verticaal vlak blijft, behoort een projectiebeeld van dit beenstuk, zoals op figuur 19c wordt aangegeven. Uiteraard is deze tekening gelijk aan figuur 17b. De reeds eerder genoemde veranderingen in het projectiebeeld bij draaiing om een verticale as zullen weer optreden. De processus coracoideus zal verkort geprojecteerd worden. De graad van deze verkorting is, zoals wij reeds boven zagen, afhankelijk van de hoek, welke de scapula met het frontale vlak maakt. De lengte-as van het vrije deel zal schuin blijven oplopen tijdens deze draaiing om een verticale as. De processus coracoideus en het acromion op elkaar geprojecteerd zolang de scapula in het frontale vlak is gelegen, zullen zodra het laterale deel naar ventraal wordt bewogen, in medio-laterale richting uit elkaar draaien. De processus coracoideus wordt niet meer geprojecteerd op

het acromion, doch er naast en bovendien even craniaal van de spina.

De bovengenoemde nagebootste stand van de scapula was aanleiding om hiervan ook een röntgenfoto te vervaardigen (fig. 17c). De röntgenfoto werd verkregen, nadat de losse scapula Ba 238 eerst in het eigen verticaal staande vlak zover was gedraaid, totdat de margo axillaris verticaal staat, dus over ca. 30° . Daarna vond een draaiing van 45° van het laterale deel naar ventraal plaats, waarbij de scapula in een verticaal vlak blijft. Op de projectie blijft de margo vertebralis schuin staan, hoewel de hellingshoek zal veranderen, terwijl de margo axillaris uiteraard de verticale stand behoudt. De processus coracoideus met het vrije deel enigszins naar lateraal schuin oplopend, wordt mediaal van de cavitas glenoidalis op de spina geprojecteerd. Op de tekening (fig. 17b) vervaardigd van de losse scapula wk.nr. 2725 raakt de processus coracoideuspunt de spina niet meer. *Er blijken dus verschillen in de projectie van de processus coracoideus ten opzichte van de spina.* In verband hiermee werden nog 10 willekeurig gekozen scapulae op dit verschijnsel onderzocht. Zij werden alle in dezelfde stand geplaatst als de scapula gebruikt voor de tekening. Het resultaat was, dat bij 6 scapulae de processus op de spina werd geprojecteerd, terwijl bij 4 de processus er craniaal van bleef. De gevonden verschillen, die tussen tekening en röntgenfoto bestaan wat betreft de verhouding van de processus ten opzichte van de spina, blijken dus afhankelijk van het voor dit onderzoek gebruikte beenstuk. Wordt de voor de röntgenfoto gebruikte scapula met de angulus inferior als steunpunt over slechts enkele graden achterovergekanteld, dan komt de projectie van het vrije deel van de processus craniaal en los van de spina.

Bij de vergelijking van de zojuist beschreven beelden (fig. 17b en 17c) met de van levenden vervaardigde röntgenfoto's, wanneer de arm zonder rotatie 90° zijwaarts is geheven, viel een gemeenschappelijk patroon (fig. 9 en 10) op. Bovendien bleek bij hen ook een verscheidenheid te bestaan in de verhouding van de processus tot de spina. Bij 8 van de 12 foto's, vervaardigd van de zonder rotatie zijwaarts geheven armen, werd de processus op de spina gevonden, bij 4 andere werd hij erboven geprojecteerd.

Een soortgelijk verschil werd ook bij de losse scapulae gevonden. Deze variaties zijn mogelijk het gevolg van de vorm van de processus coracoideus ten opzichte van de spina, doch ook kan als verklaring voor dit verschijnsel overwogen worden een voorover- dan wel achteroverkantelen van de scapula, waarop later nader zal worden ingegaan.

Wij kunnen hieruit dus besluiten, dat de verticaal staande scapula in deze stand een hoek maakt met het frontale vlak van ca. 40° . Ook heeft een draaiing

in het scapulaire vlak plaatsgevonden. De margo vertebralis maakt een hoek met een verticale lijn, die wisselend van grootte 20° - 30° bedraagt in het scapulaire vlak zelve.

In hoofdstuk III werd reeds opgemerkt, dat bij de tot 90° geabduceerde arm zonder rotatie de scapula al of niet naar de wervelkolom getrokken kan worden. In beide gevallen heeft het projectiebeeld van de scapula nagenoeg dezelfde vorm, met dit verschil, dat de processus coracoideus bij een deel van de onderzochte personen bij het trekken naar achteren van de schouderbladen iets langer geprojecteerd wordt dan in de groep, waar de scapula niet bewust naar achteren is getrokken. Dit betekent, dat de hoek, die de scapula met het frontale vlak maakt kleiner is geworden, hetgeen verklaarbaar is door de ligging dicht naast de wervelkolom, waar de kromming van de thoraxwand geringer is. De stand, waarbij de projectie van de processus coracoideus identiek is aan het beeld zoals gevonden wordt, wanneer de scapula in het frontale vlak gelegen is, werd nooit bereikt. Met andere woorden, bij de tot 90° zijwaarts geheven arm zonder rotatie is de scapula niet in het frontale vlak gelegen; ook niet, wanneer de schouderbladen naar de wervelkolom worden getrokken.

Zoals wij reeds zagen, verandert de stand van de scapula niet, wanneer de armen geëxoroteerd worden bij 90° zijwaarts heffen (zolang de m. serratus anterior niet bewust wordt aangespannen). De opvatting van Strasser, Pfuhl en Mollier, dat bij zijwaarts heffen van de arm de scapula in het frontale vlak geplaatst wordt, kunnen wij dus niet bevestigen.

Clavicula

Bij de uitvoerig beschreven inspectie en palpatie van een proefpersoon bleek, dat de clavicula een hoek van ca. 30° maakt met het horizontale, en een hoek van ca. 50° met het frontale vlak. Deze stand kan zonder moeite aan een losse clavicula worden nagebootst. En zoals wij reeds boven zagen, zal het projectiebeeld op de tekening twee nagenoeg evenwijdige lijnen laten zien, welke een hoek maken met het horizontale vlak.

Bij het bestuderen van de röntgenfoto's, vervaardigd van de door ons onderzochte personen bleek in een deel der gevallen de clavicula horizontaal te liggen en in het merendeel der gevallen in meer of mindere mate schuin naar lateraal op te lopen. Bijna steeds liepen de lijnen evenwijdig; in verscheidene gevallen was ook de tuberositas coracoidea zichtbaar. Dit laatste wijst erop, dat ook een rotatie om de lengte-as heeft plaatsgevonden, waarbij het craniale vlak naar dorsaal wordt gekeerd. Er blijken duidelijke individuele verschillen

te zijn, zowel wat betreft de ligging als van het al of niet plaatsvinden van een rotatie om de lengte-as.

Figuur 21 geeft tenslotte het beeld, wanneer de drie beenstukken bij de zijwaarts geheven arm op de achterwand van de kubus worden geprojecteerd. De standen van scapula en humerus zijn dezelfde als de reeds beschrevene. De claviculastand is weer een gemiddelde van hetgeen op de röntgenfoto's van levenden werd gevonden. De clavicula maakt hierbij een hoek van ca. 15° met het horizontale vlak, ca. 50° met het frontale vlak en is ca. 5° om de lengte-as gedraaid.

Stand III. De arm is geëxoroteerd, terwijl hij nog steeds tot 90° is geabduceerd

Humerus

Zoals wij reeds eerder schreven, vond er bij onze uitvoerig onderzochte proefpersoon geen standverandering plaats van de scapula en clavicula tijdens de exorotatie van de humerus. De standveranderingen van scapula en clavicula, die door middel van bewuste aanspanning van de m. serratus anterior mogelijk zijn, zullen bij de maximale heffing besproken worden. De humerus bevindt zich in deze stand met de lengte-as en beide epicondyli in een horizontaal vlak, waarbij de epicondylus medialis naar ventraal wijst. De lengte-as ligt tevens in het frontale vlak. De losse humerus kan zonder moeite in deze stand geplaatst worden. Inspectie van het craniale deel van de humerus leert, dat het caput humeri mediaal en ventraal is gelegen en dat het tuberculum majus zich aan de dorsale zijde en het tuberculum minus zich aan de craniale zijde bevindt. Op de gemaakte röntgenfoto's bij levenden in deze stand steekt het tuberculum minus het meest naar craniaal uit en is het tuberculum majus caudaal hiervan gelegen (fig. 11).

Stand IV. Maximale elevatie van de arm

Humerus

Nauwkeurige inspectie van de humerus in deze stand heeft ons geleerd, dat de epicondylus medialis naar mediaal en ventraal wijst, terwijl de lengte-as enigszins van cranio-ventro-lateraal naar caudo-dorso-mediaal helt.

Het caput humeri wijst naar mediaal en ventraal, het tuberculum minus naar dorso-mediaal, het tuberculum majus naar dorso-lateraal. Op de in deze stand

vervaardigde röntgenfoto's van onze proefpersonen wordt het tuberculum minus aan de mediale en craniale zijde van het caput teruggevonden, terwijl het tuberculum majus samen geprojecteerd wordt met het caput humeri. Het caput is duidelijk zichtbaar en neemt grotendeels op deze projectie het caudale en laterale gedeelte van de humerus in beslag (fig. 13).

Scapula

Door de inspectie zijn de stand van de margo vertebralis, de spina met het acromion bij maximale heffing van de arm bekend geworden. Indien wij deze stand willen nabootsen, plaatsen wij de losse scapula eerst weer in de uitgangsstand in het frontale vlak met de margo vertebralis verticaal, zoals reeds eerder genoemd. Het blijkt, dat de margo vertebralis een zeer schuine stand inneemt bij de levende mens en dit kan bereikt worden door een draaiing naar lateraal van de angulus inferior over ca. 50° , waardoor de margo axillaris zelfs naar medio-craniaal gaat hellen. Inspectie van lateraal leert, dat het acromion meer naar ventraal geplaatst is dan de margo vertebralis; het laterale deel van de scapula is dus naar ventraal verschoven. Deze verschuiving van het laterale deel naar ventraal vindt over ongeveer 40° plaats. Bij inspectie bleek bovendien, dat ook een kanteling naar achteren had plaatsgevonden van het craniale deel. Deze kanteling voerden wij zodanig uit, dat het aanvankelijk verticaal staande scapulaire vlak om de angulus inferior als steunpunt naar achteren wordt bewogen, zover totdat in de nieuwe stand dit vlak een hoek van ca. 15° maakt met de stand, waarin het zich aanvankelijk bevond. Er dient hierbij te worden opgemerkt, dat de palpatie van het acromion enigszins bemoeilijkt werd door de contractie van de m. deltoideus.

Bij de nabootsing van de stand van de scapula bij de tot 90° geabduceerde arm bleek, dat dit beenstuk twee bewegingen doormaakte, namelijk een draaiing *in* het scapulaire vlak, waardoor de margo vertebralis een schuine stand ging innemen en een draaiing *van* het scapulaire vlak, waardoor de scapula een hoek gaat maken met het frontale vlak. Deze zelfde componenten zijn ook aanwezig bij de nu te bespreken stand. Er is alleen een verschil van kwantitatieve aard, de draaiing in het verticaal staande scapulaire vlak is groter (thans ca. 50°), de hoek met het frontale vlak blijft ongeveer hetzelfde. Daarnaast is er nog een andere bewegingscomponent, namelijk een naar achteren kantelen, waardoor het scapulaire vlak een hoek gaat maken van ca. 15° met het verticale vlak, waarin hij zich voordien bevond. Hierdoor zal de processus coracoideus meer naar craniaal worden verplaatst. Deze stand wordt in de rond de scapula gedachte kubus afgebeeld in figuur 18a. De projectiebeelden op de achterwand

van de kubus en op het röntgenschermbild zijn op de figuren 18b en 18c zichtbaar. *De processus coracoideus wordt geheel vrij geprojecteerd als een kromme tand*, de margo vertebralis maakt projectivisch gezien een hoek van ongeveer 40° met een verticale lijn en de margo axillaris staat of verticaal of helt enigszins naar medio-craniaal. Eenzelfde patroon is op de röntgenfoto's vervaardigd van levenden, op te merken.

Gezien de verschillen in vorm van de scapulae gingen wij nog op de volgende wijze te werk. Tien van de reeds bovengenoemde willekeurig gekozen scapulae werden in zoverre in de eindstand geplaatst, dat de kanteling daarbij achterwege werd gelaten. Het projectiebeeld dat nu ontstond, was nimmer identiek aan hetgeen op de röntgenfoto's van levenden in deze stand zichtbaar was. Deze stand kon pas bereikt worden nadat ook enige kanteling had plaatsgevonden. Deze bedroeg ca. 15° .

Het lijkt dan ook gerechtvaardigd aan te nemen, dat bij de maximaal geheven arm, de verticaal staande scapula een hoek met het frontale vlak maakt van ca. 40° , waarbij de margo vertebralis een hoek van ca. 50° met een verticale lijn maakt en daarna bovendien naar achteren gekanteld is over ca. 15° .

Clavicula

Bij de inspectie is de stand van dit beenstuk beschreven. Deze is gekenmerkt, doordat de clavicula een hoek van ca. 60° met het frontale en van ca. 30° met het horizontale vlak maakt, terwijl ook een draaiing om de lengte-as, waarbij de voorrand naar craniaal gaat, optreedt. Deze stand kan op een tekening worden nagebootst, waarbij de clavicula sterk verkort is, een duidelijke S-vorm heeft en de tuberositas zichtbaar is (fig. 22). Er blijkt een zekere eenvormigheid te zijn in de projectiebeelden van de claviculae op foto's vervaardigd van levenden en deze tonen veel overeenkomst met het nagebootste projectiebeeld. Toch zijn ook hier nog individuele verschillen waar te nemen. In een deel der röntgenologisch onderzochte gevallen was de clavicula in een horizontale stand, terwijl bij andere de hoek met het horizontale vlak op kon lopen tot ca. 30° .

De projectie op de achterwand van de kubus van de drie beenstukken bij maximaal geheven arm wordt op figuur 22 gevonden. De scapula en de humerus bevinden zich in de reeds beschreven standen, zoals ook op de röntgenfoto's vervaardigd van levenden werd gevonden. In deze tekening maakt de clavicula een hoek van ca. 25° met het horizontale vlak, van ca. 60° met het frontale vlak en is ca. 40° om de lengte-as gedraaid.

HOOFDSTUK V

De anatomische verhoudingen in de kapsel van het humero-scapulaire gewricht

In een aantal publikaties, zie Nauta en Landsmeer (1948), Landsmeer (1958, 1960), Landsmeer en Meijers (1959), werd dit onderwerp reeds uitvoerig besproken. In het nu volgende hoofdstuk worden daarom alleen enkele anatomische feiten genoemd, voorzover zij van belang zijn voor een goed inzicht in de later bij de bewegingen in het humero-scapulaire gewricht te bespreken veranderingen in de kapsel.

De kapsel van het humero-scapulaire gewricht wordt versterkt door de pezen van de schouderbladspieren. Aan de dorsale zijde van de kapsel bevinden zich de pezen van de mm. infraspinatus en teres minor, aan de craniale zijde de pees van de m. supraspinatus en aan de ventrale zijde die van de m. subscapularis. Over de kapsel, de pezen en de spieren heen is de door ons zo genoemde schouderkap gelegen, die bestaat uit de fascia subdeltoidea en de fornix humeri. Onder de fornix humeri wordt verstaan het osteo-fibreuze gedeelte van de schouderkap. Dit bestaat uit het acromion, de processus coracoideus en de tussen beide beenstukken uitgespannen fascie, waarin versterkingsvezels aanwezig zijn. Dit gedeelte imponeert daardoor als een ligament en wordt het ligamentum coraco-acromiale genoemd. De fornix humeri is als een dak over het schoudergewricht gelegen. Het fibreuze deel van de schouderkap, de fascia subdeltoidea, zet zich aan de dorsale zijde voort in de fascia infraspinata, aan de ventrale zijde in die van de m. subscapularis, terwijl bovendien de fasciale omhulling voor de aan de processus coracoideus insererende spieren, de m. coracobrachialis en de m. biceps caput breve, door deze fascie wordt gevormd.

Tussen de schouderkap en de met spieren en pezen bedekte humero-scapulaire gewrichtskapsel bevinden zich twee scherp begrensde weefselspleten elk met een eigen wand. Het zijn de bursae subdeltoidea en subcoracoidea. Zij zijn na injectie met bariumgelatine duidelijk door de fascia subdeltoidea heen zichtbaar. Een röntgenfoto gemaakt, nadat de bursa subdeltoidea bij een normaal gewricht met bariumgelatine was geïnjecteerd, laat niet alleen de uit-

breiding zien, doch ook de afwezigheid van enig contact met de humero-scapulaire gewrichtsholte (fig. 23). Deze bursa is gelegen tussen het craniale deel van de fascia subdeltoidea met zijn voortzetting in het ligamentum coraco-acromiale en de humerus. De bursa bedekt het tuberculum majus en de supraspinatuspees ter hoogte van zijn insertie aan het tuberculum. De dorsale begrenzing is onder het acromion gelegen, de ventrale lateraal van de processus coracoideus. De bursa aan zijn rand omgeven door losmazig weefsel wordt aan de voorzijde begrensd door het ligamentum coracohumerale, dat als een stevig bindweefselblad uitstraalt van de processus coracoideus naar het tuberculum majus en minus. Dit ligament bepaalt de scheiding ten opzichte van de bursa subcoracoidea. De bursa subcoracoidea (fig. 27) is op de subscapularispees gelegen, caudaal van de processus coracoideus en wordt bedekt door de fascia subscapularis, die dus een voortzetting is van de fascia subdeltoidea. De subscapularis fascie behoort met een oppervlakkig blad tot de laag van de processus coracoideus dus tot de fornix humeri, terwijl een dieper blad zich onder de processus coracoideus voortzet naar het craniale deel van de kapsel. Hierdoor bestaat er aan de voorzijde van het gewricht een verbinding tussen de schouderkap en de kapsel. Later zal ter sprake komen, dat er ook een verbinding aanwezig is tussen het dorsale deel van de fascia subdeltoidea en de voorwand.

De verwijdering van de mm. infraspinatus en teres minor van de kapsel aan de dorsale zijde gaat zonder moeilijkheden. De vezelloop in de kapsel aan deze zijde is goed zichtbaar. De vezels lopen ongeveer horizontaal, terwijl versterkingsbanden niet worden aangetroffen. Aan de ventrale zijde daarentegen kan de m. subscapularis niet verwijderd worden zonder de kapsel in te snijden en de gewrichtsholte te openen. Er ontstaat aan de cranio-laterale zijde een foramen. Dit foramen is beschreven door *W e i t b r e c h t*. Door dit foramen breidt de gewrichtsholte zich uit langs de peesrand van de m. subscapularis (fig. 27).

Een juist inzicht in de ingewikkelde verhoudingen, welke aan de ventrale zijde van de kapsel aanwezig zijn, kon het best ontwikkeld worden aan de hand van seriecoupes van foetaal materiaal. Van de schouderregionen afkomstig van een drielingfoetus van 11,5 cm werden frontaal en horizontaal gesneden seriecoupes vervaardigd (serie 1549 en serie 1556, wk.nr. 604). De scapulae van deze foetus staan iets naar voren. In de frontale coupes wordt het gewricht dus enigszins dwars of aequatoriaal aangesneden. Aan de hand van enkele frontale coupes zullen de voornaamste bevindingen beschreven worden (fig. 24 t/m 26). Alle spieren, die uit de anatomie van de volwassenen bekend zijn, worden op

de coupes teruggevonden. Aan de humeruskop insereert de m. subscapularis met bijna horizontaal lopende pees- en spiervezels. Over deze vezels heen ligt een van het tuberculum minus en majus komend bindweefselblad, waarvan de vezels een cranio-caudaal beloop hebben. Het meest craniale gelegen deel van deze vezellaag behoort tot het craniale deel van de kapsel, dat korthedshalve het craniale kapselveld wordt genoemd. Deze vezels zijn dus loodrecht gelegen op de pees en spiervezels van de m. subscapularis. Ter plaatse waar deze bindweefselplaat de processus coracoideus passeert, wordt er onder een spleet zichtbaar. Deze weefselruimte is *dus op de m. subscapularis gelegen* en het is niet moeilijk om hierin de reeds beschreven bursa subcoracoidea te zien (fig. 24 en 24a). Het is hierdoor duidelijk, dat een deel van de humero-scapulaire gewrichtskapsel *extra-capsulair* komt te liggen en als een kap de bursa subcoracoidea bedekt. Een deel van de zojuist genoemde vezels buigen zich naar ventraal en daarna craniaal om aan de voorzijde de processus coracoideus te bedekken. De subscapularispees wordt dus door vezels bedekt, die van het craniale kapselveld afkomstig zijn. Anderzijds betekent deze verhouding, dat men uitgaande van de fascia subscapularis enerzijds de processus coracoideus kan bereiken, anderzijds het craniale kapselveld. Van de processus coracoideus stralen bindweefselvezels naar het craniale kapselveld, het ligamentum coraco-humerales, terwijl ook de vezels, welke het ligamentum coracoacromiale vormen zichtbaar zijn en craniaal van het zojuist eerstgenoemde ligament zijn gelegen. Aan het craniale deel van de subscapularispees bevindt zich een bursa, welke aan de laterale zijde open (fig. 24 en 24a), meer naar mediaal gesloten is (fig. 25 en 25a; 26 en 26a). Deze bursa zit als een ruiter op de peesrand. Hij wordt gevormd door een oppervlakkig blad, de eigenlijke fascia subscapularis, de pees bedekkend en een diep blad, dat zich hiervan afsplitst en dat aan de dorsale zijde van de pees is gelegen. Dit laatste wordt de lamina profunda genoemd en dit blad heeft naar lateraal een vrije rand, met andere woorden, het strekt zich niet uit tot aan de insertie van de pees. Er ontstaat daardoor een communicatie tussen de bursa en de gewrichtsholte zoals op figuur 24 en 24a zichtbaar is.*) Indien wij de verhoudingen beschrijven gaande van lateraal naar mediaal, constateren wij op enige afstand van de insertie van de m. subscapularis aan de binnenzijde van de lamina profunda een paddestoelvormige uitstulping in de gewrichtsholte (fig. 25 en 25a). Dit weefselgebied wordt op de volgende coupes steeds groter en er ontstaan zowel aan de craniale als aan de caudale zijde grote lippen, terwijl het gebied binnenin losmazig wordt. De caudale lip ver-

*) Er is overwogen in deze studie een onderscheid tussen bursa en recessus te maken, doch gezien de bestaande nomenclatuur zijn wij in deze wat terughoudend gebleven.

dwijnt naar mediaal, de craniale wordt steeds hoger. Tenslotte vergroeit deze structuur met de bovenrand van de cavitas glenoidalis (fig. 26 en 26a). Van deze structuur, die tot de laag van de eigenlijke kapsel behoort en lateraalwaarts met de subscapularispees versmelt, is de vrije rand het ligamentum glenohumerale medium. Aangezien het ligamentum glenohumerale inferius in deze zelfde laag is gelegen, spreken wij over het gleno-humerale kapselveld. De capsulaire recessus, die wij zien aan de buitenzijde van de vrije plooï van het gleno-humerale veld, kan zich een eindweegs over het collum scapulae als bursa voortzetten. Deze bursa II is dorsaal van bursa I gelegen. De scheidingswand tussen hen is de reeds genoemde lamina profunda. Dorsaal en caudaal van bursa II, tussen het ligamentum glenohumerale medium en inferius, kan soms nog een derde bursa gevonden worden.

Het is nu begrijpelijk, dat op de plaats waar de lamina profunda afwezig is, de pees van de m. subscapularis in de gewrichtsholte ligt. Bij macrodissectie wordt bij het openen van de gewrichtsholte op deze plaats een bursa gevonden, zich uitstrekkende naar mediaal en gelegen op de peesrand, en dorsaal hiervan nog een bursa (fig. 27). Op grond van de ligging ten opzichte van de lamina profunda kan men steeds duidelijk vaststellen wat bursa I is en wat bursa II. Tussen beide bevindt zich de bij het embryo beschreven lamina profunda, terwijl bursa I onmiddellijk over de rand van de m. subscapularis is gelegen. De dorsale wand van de tweede bursa is gedeeltelijk tegen de voorwand van de scapula gelegen. De rest steekt in de gewrichtsholte uit, duidelijk zichtbaar als het ligamentum glenohumerale medium. Dit ligament loopt van het craniale deel van het labrum schuin naar lateraal en caudaal, waar het vergroeid is met de kapselwand en subscapularispees.

Na het verwijderen van de m. subscapularis is de dunne dorsale fascie omhulling, lamina profunda, zichtbaar. Hieronder bevindt zich het ventrale gleno-humerale kapselveld. Als meest oppervlakkige laag, dus onmiddellijk onder de lamina profunda treffen wij hierin vezels aan, die van caudaal naast het labrum naar craniaal aan het tuberculum minus lopen, ter hoogte waar de m. subscapularis insereert (fig. 28). Deze vezels werden door Strasser (1917) beschreven als „aufsteigende Fasern“. Aan de mediale zijde zijn transversaal verlopende vezels zichtbaar, die door deze vezelbundel worden bedekt. Zij vormen een dunne laag. De schuin opstijgende vezels kunnen gedeeltelijk verwijderd worden van deze onderlaag, waardoor de transversale vezels duidelijk worden. Deze transversale bundel gaat meer naar caudaal in het ligamentum glenohumerale inferius over. Dit ligament heeft een nagenoeg horizontaal beloop, wanneer de humerus geabduceerd en geëxoroteerd is. De opstij-

gende vezelbundel blijkt naar caudaal voor een deel samen te hangen met de omhullende fascia subscapularis, die aan de onderzijde hierdoor versterkt wordt en voor een ander deel met de dorsaal gelegen fascia subdeltoidea, die de mm. infraspinatus en teres minor bedekt.

Uit het bovenstaande is het duidelijk, dat de humero-scapulaire gewrichtskapsel ingewikkeld is opgebouwd. Er is onder andere een spiraalvormige structuur in te vinden, waarbij hetgeen aanvankelijk binnen ligt later buiten komt. Dit wordt duidelijk gedemonstreerd aan:

1. de craniale kapsel, die zich voortzet als een omhulling voor de subscapularispees, die de bursa subcoracoidea omvat en daarmee dus overgaat in de fascia subscapularis, een onderdeel van het fibreuze deel van de schouderkap. Ook gaan vezels naar de ventrale zijde van de processus coracoideus en vormen daarbij een onderdeel van het osteo-fibreuze deel van de schouderkap, de fornix humeri. In dit deel liggen het acromion en de processus coracoideus geïncorporeerd, waarmee dus de fascia subscapularis verbindingen onderhoudt. Voorts gaat uit deze laag en wel van de processus coracoideus het ligamentum coracohumerale naar het craniale kapselveld.
2. het opstijgende vezelsysteem, dat naar caudaal gaande zich voortzet op de oppervlakkige fascia subdeltoidea aan de dorsale zijde en een versterking vormt aan de caudale zijde van de de m. subscapularis omhullende fascie.

Vanuit de gewrichtsholte zijn twee uitstulpingen op te merken: bursa I en bursa II. De eerste is op de peesrand van de m. subscapularis gelegen en mondt via een diafragma in de achterste wand van de fascia subscapularis (lamina profunda) uit in de gewrichtsholte; de tweede is dorsaal gelegen van de eerste en heeft eveneens een vrije rand, die zich in de gewrichtsholte bevindt, namelijk de vrije rand van het ligamentum glenohumerale medium. Tussen de schouderkap en de gewrichtskapsel bedekt door spieren bevinden zich twee bursae, welke geen enkel contact hebben met de gewrichtsholte, de bursa subdeltoidea en de bursa subcoracoidea.

HOOFDSTUK VI

De verhoudingen in de humero-scapulaire gewrichtskapsel tijdens het zijwaarts heffen van de arm, waarbij abductie en exorotatie na elkaar plaatsvinden en de stand, die de beenstukken hierbij ten opzichte van elkaar innemen

Zes karakteristieke anatomische preparaten van het humero-scapulaire gewricht werden bestudeerd.

Vier standen, die door scapula en humerus tijdens het zijwaarts heffen worden ingenomen zijn uit het voorgaande bekend. Door de beenstukken in een dergelijke stand te plaatsen kunnen de erbij behorende kapselverhoudingen bestudeerd worden. Het was ons hierbij te doen om een nauwkeurige registratie van de kapselveranderingen en niet om een preciese bepaling van de grootte van de heffing; zodat wij voor dit doel met de bestudering van gefixeerde preparaten menen te kunnen volstaan.

De voor dit onderzoek gebruikte preparaten zijn aanwezig in de collectie van het Anatomisch Laboratorium te Leiden en zijn geregistreerd onder een werkkaart nummer. Van 3 preparaten was de herkomst niet meer te achterhalen. Zij zijn geregistreerd onder: wk. nr. 2353; wk. nr. 1377; wk. nr. 2726.

De 3 andere preparaten zijn:

linker schouder van een vrouw van 73 jaar: wk. nr. 568;

rechter schouder van een vrouw van 63 jaar: wk. nr. 845;

rechter schouder van een man van 62 jaar: wk. nr. 1666.

De theoretische uitgangsstand met de kapselverhoudingen

Om de bestudering van de kapselverhoudingen te vergemakkelijken, gaan wij van een bepaalde stand van de beenstukken uit, die uitgangsstand genoemd zal worden. In deze stand zijn de humerus en scapula samen in een frontaal vlak gelegen (fig. 29). De humerus is in dit vlak met de lengte-as verticaal geplaatst, terwijl de epicondylus medialis naar mediaal wijst. Deze stand is identiek aan die, welke de humerus inneemt, wanneer de arm langs het lichaam hangt en dus in het frontale vlak is gelegen. De scapula bevindt zich in dit vlak met zijn margo vertebralis verticaal. De processus coracoideus ligt aan de ventrale zijde

en het acromion aan de dorsale zijde van het scapulaire vlak. In deze stand wijst de humerusbol naar medio-dorso-craniaal en het vlak door het collum anatomicum staat schuin op het frontale vlak.

De cavitas glenoidalis wijst schuin naar boven en lateraal en staat loodrecht of bijna loodrecht op het frontale vlak. In deze stand promineert het caput humeri aan de dorso-craniale kant van het gewricht. Het labrum glenoidale en het collum anatomicum zijn aan de craniale en de dorso-craniale zijde ver van elkaar verwijderd, terwijl zij aan de caudale, de dorso- en ventro-caudale zijde elkaar naderen.

De kapsel is zonder plooien in het craniale en dorso-craniale gebied, terwijl het dorso-caudale, het caudale en het ventrale deel in plooien is gelegen; hetgeen ook het geval is met het ligamentum coracohumerale en het ligamentum glenohumerale medium.

Uitgaande van deze uitgangsstand kunnen wij door de humerus en de scapula van stand te veranderen, de situatie bereiken zoals voorkomt, wanneer de arm:

langs het lichaam hangt: stand I;
tot ongeveer 90° is geabduceerd: stand II;
tot ongeveer 90° geabduceerd en geëxoroteerd is: stand III en
maximaal geëleveerd is: stand IV.

Stand I. Arm hangend langs het lichaam

De humerus bevindt zich in deze stand met de lengte-as en de beide epicondylen in het frontale vlak. De scapula maakt een hoek van ongeveer 30° met het frontale vlak en is daarbij ook nog enigszins voorovergekanteld. Dit laatste zullen wij voorlopig buiten beschouwing laten. Deze stand kan bereikt worden door vanuit de uitgangsstand het mediale deel van de scapula naar dorsaal te draaien, waarbij de cavitas over de humerusbol naar achteren verplaatst wordt. De veranderingen in de kapsel, welke hiervan het gevolg zijn, zullen ook optreden, wanneer de humerus wordt geëxoroteerd, terwijl de scapula in de uitgangsstand blijft staan.

Eerst wordt nagegaan, welke veranderingen optreden, wanneer de humerus in het theoretisch aangenomen uitgangsvlak maximaal naar binnen of buiten wordt gedraaid, terwijl de scapula in het vlak blijft liggen.

E n d o r o t a t i e

Bij de endorotatie zullen alle punten aan de dorsale zijde van het collum anatomicum naar lateraal, en aan de ventrale zijde naar mediaal worden be-

wogen. Het caput humeri wordt door deze beweging verder naar dorsaal verplaatst en zal aan de achterzijde van het gewricht gaan prominieren. De te overbruggen afstand tussen het collum anatomicum en de cavitas glenoidalis zal aan de dorsale zijde groter en aan de ventrale zijde kleiner worden. De kapsel, in de uitgangsstand reeds zonder plooien in het dorso-craniale gebied, zal door vergroting van de afstand tussen de aanhechtingspunten strak uitgespannen worden, terwijl in het caudo-dorsale gebied, waar de kapsel geplooid is, de plooien nagenoeg verdwijnen. Aan de ventrale zijde zullen daarentegen de plooien toenemen. Het ligamentum coracohumerale zal door de verplaatsing naar ventraal van het tuberculum minus en majus sterker geplooid worden. Hoever de endorotatie kan plaatsvinden, zal afhankelijk zijn van de mate waarin het *dorso-craniale deel van de kapsel uitgespannen kan worden*.

Exorotatie

Bij de maximale exorotatie van de humerus zal juist het tegengestelde proces optreden. De punten op de dorsale zijde van het collum anatomicum gelegen zullen naar mediaal, en aan de ventrale zijde naar lateraal bewogen worden. De aanhechtingspunten van de kapsel zullen hierdoor aan de dorsale zijde dichter bij elkaar komen. De kapsel, zoals bekend in de uitgangsstand *zonder* plooien in het dorso-craniale en *met* plooien in het dorso-caudale gebied, zal nu aan de gehele achterkant plooien tonen. De aanhechtingspunten van de kapsel zullen aan de voorzijde juist uit elkaar gaan. Vóór de exorotatie is de horizontale afstand tussen de punten aan het craniale deel van de voorwand groter dan caudaal. Ná de exorotatie, waarbij de aanhechtingspunten alleen om de lengte-as van de humerus naar lateraal worden gedraaid, zal deze verhouding zo blijven. De gehele voorwand, in de uitgangsstand in plooien gelegen, zal na de exorotatie aan het craniale deel geen en aan het caudale deel nog wel plooien tonen. *Het ligamentum glenohumerale medium blijkt nu sterk uitgespannen te worden.*

Daar het tuberculum majus en minus naar dorsaal draaien, wordt de afstand tussen de processus coracoideus en deze uitsteeksels steeds groter en wordt het ligamentum coracohumerale uitgespannen. Het ligament zal daarbij steeds voor de lengte-as blijven en het draaiingsmiddelpunt niet passeren. Het gespannen craniaal gelegen deel van de voorwand, tezamen met het ligamentum coracohumerale zal verder voortgaande exoroterende beweging onmogelijk maken.

Bij de door ons onderzochte preparaten kan zowel endo- als exorotatie plaatsvinden. De exorotatie varieert tussen 70° en 90°; de endorotatie varieert

tussen 30° en 60° . Het craniale deel van de humerus zal tijdens deze bewegingen juist onder het ligamentum coracoacromiale en het acromion draaien. De draaiende beweging van de humerus ondervond hierbij geen belemmering van het ligamentum coracoacromiale, de processus coracoideus of het acromion. Het is van belang op te merken, dat de ruimte tussen het craniale deel van de humerus enerzijds en de fornix humeri anderzijds gering is. Wanneer wij ons realiseren, dat hier de bursa subdeltoidea gelegen is, zal de genoemde verplaatsing van de humerus gepaard moeten gaan met een over elkaar glijden van de onderste en bovenste bursawand.

De thans verkregen kennis maakt het ons mogelijk de verhoudingen, die in de kapsel aanwezig zijn bij de *langs het lichaam hangende arm* na te gaan (fig. 32). De humerus bevindt zich dus in het frontale vlak en de scapula maakt een hoek met dit vlak, welke individueel wisselt, doch meestal ca. 30° bedraagt.

Wij kunnen vanuit het uitgangsvlak het mediale deel van de scapula naar dorsaal draaien, totdat het vlak door de scapula een hoek van ca. 30° maakt met het frontale vlak. De scapula zal hierbij steeds in een verticaal vlak blijven. Het draaien van het mediale deel van de scapula naar dorsaal heeft tengevolge, dat de cavitas over de bol naar achteren draait. Deze beweging heeft dus hetzelfde effect als exorotatie van de humerus bij stilstaande scapula in het frontaal gelegen uitgangsvlak. Alle kapselveranderingen zoals beschreven bij de maximale exorotatie zullen, zij het in mindere mate, optreden.

De kapsel blijkt, zoals wij mogen verwachten aan de ventrale, dorsale en caudale zijde in plooiën gelegen te zijn, terwijl het craniale en ventro-craniale deel uitgespannen blijft. Het ligamentum glenohumerale medium loopt in deze stand van medio-craniaal naar latero-caudaal en is uitgespannen. Het ligamentum coracohumerale overbrugt de afstand tussen de processus en het tuberculum majus en minus en is in deze stand ook uitgespannen. Daar uit het bovenstaande reeds bleek, dat de scapula ten opzichte van de humerus over 70° - 90° naar dorsaal kan draaien, is het duidelijk, dat in deze stand de zojuist genoemde ligamenten niet strak gespannen staan.

Tot nu toe zijn wij er stilzwijgend van uitgegaan, dat de scapula zich in een verticaal vlak bevindt bij de arm hangend langs het lichaam. Dit is echter niet het geval. Immers, er is ook een lichte vooroverkanteling te constateren. Het craniale deel van de cavitas wordt hierdoor enigszins naar voren geplaatst en het caudale deel naar achteren. Het gevolg zal zijn, dat aan de bovenzijde waar de kapsel uitgespannen is en de aanhechtingpunten min of meer recht tegenover elkaar liggen een geringe winding in de kapsel zal optreden. Dit zal slechts

weinig zijn, daar de kanteling 10° - 15° bedraagt. Aan de onderzijde, de ventro- en dorso-caudale zijde, waar plooien aanwezig zijn, zal van een winding in de kapsel weinig opgemerkt kunnen worden.

Na de beschrijving van de kapselverhoudingen bij de langs het lichaam hangende arm, is het van belang ook de stand van de beenstukken ten opzichte van elkaar te bepalen. De algemeen geldende regel is, dat de plaats van het distaal gelegen beenstuk bepaald moet worden ten opzichte van het proximaal gelegen. Voor scapula en humerus betekent dit, dat de stand van de humerus bepaald moet worden ten opzichte van de scapula. Aanvankelijk werden beide beenstukken in het theoretische uitgangsvlak geplaatst, hetgeen betekent, dat de humerus zich in het scapulaire vlak bevindt. Bij de arm hangend langs het lichaam is de humerus ten opzichte van de scapula geëxoroteerd (over ca. 30°) en in geringe mate ook geanteflecteerd.

De humerus kan in het scapulaire vlak zonder geheven te zijn, zowel endo- als exoroteren. Daar de humerus bij de hangende arm zich reeds in een exorotatiestand van 30° ten opzichte van het scapulaire vlak bevindt, is te verwachten, dat de exorotatie bepaald ten opzichte van het frontale vlak om en nabij 40° - 60° zal bedragen. Inspectie leert, dat de exorotatie bij levenden meer is dan 60° . Dit is alleen mogelijk, wanneer de scapula ook beweegt en daarbij de hoek met het frontale vlak kleiner wordt. Dit wordt bereikt door een verplaatsing van de scapula over de thoraxwand naar de wervelkolom toe.

De kromming van de thoraxwand is hier geringer en de hoek van het beenstuk met het frontale vlak zal hierdoor kleiner zijn. Inderdaad is bij inspectie deze verschuiving waar te nemen. De endorotatie kan groter zijn dan af te leiden is uit de bewegingen in het humero-scapulaire gewricht alleen. In dit geval zal de scapula een grotere hoek met het frontale vlak moeten maken. Dit wordt bereikt door een naar lateraal langs de thoraxwand schuiven van de scapula, waardoor de hoek met het frontale vlak groter wordt, hetgeen ook bij inspectie is waar te nemen.

Het is duidelijk, dat de exo- en endorotatie waartoe de hangende arm langs het lichaam in staat is, zowel bepaald wordt door de bewegingen in het humero-scapulaire gewricht, als door de verschuivingen, die de scapula over de thoraxwand kan maken.

Stand II. Arm tot 90° geabduceerd in het frontale vlak zonder rotatie

Om deze stand te bereiken zal ook nu weer worden uitgegaan van het theoretische, frontaal gelegen, uitgangsvlak, waarin scapula en humerus zich op de aan het begin van dit hoofdstuk beschreven wijze bevinden.

De standen van de beide beenstukken bij de tot 90° zonder rotatie zijwaarts geheven arm zijn bekend. Het is duidelijk, dat ten opzichte van de bovengenoemde stand in het uitgangsvlak zij beide een standverandering zullen moeten doormaken. Eerst zal de humerus geplaatst worden in de stand zoals in werkelijkheid voorkomt, daarna de scapula. Deze heffing van de humerus in het uitgangsvlak is in wisselende mate mogelijk, en varieert tussen ca. 70° en 90° . De humerusbol zal hierbij over de cavitas glenoidalis glijden, waardoor alle craniaal gelegen punten van het collum anatomicum naar mediaal verplaatst worden en alle caudaal gelegen punten naar lateraal. De humerusbol wijst in de beginstand naar dorsaal, mediaal en craniaal. Tijdens de abductie zal het craniale deel naar mediaal en het mediale deel naar caudaal draaien, terwijl het dorsale deel naar achteren blijft wijzen. Het prominerende dorsale deel van de bol zal echter wel van stand veranderen en aan de achteronderzijde gevonden worden. Door deze beweging worden alle aanhechtingspunten van de kapsel aan het tuberculum majus en minus naar mediaal bewogen en komen daardoor dicht bij het craniale deel van het labrum glenoidale te liggen. De kapsel, tussen deze twee gebieden voor de abductie strak uitgespannen, zal hierna ruim zijn en geplooid worden (fig. 30). De ontstane plooien lopen in sagittale richting. Zij zijn zowel aan het craniale, als het ventro- en dorso-craniale deel van de kapsel zichtbaar. Het aan de ventrale zijde van de humerus zich bevindende tuberculum minus en de voorrand van het tuberculum majus zijn dicht bij het vrije deel van de processus coracoideus gekomen. Het ligamentum coracohumerale toont duidelijke plooien.

Het tuberculum majus vindt tijdens de abductie onder het ligamentum coraco-acromiale een plaats. De beweging van de humerus wordt hierdoor niet belemmerd. De afstand tussen het ligament en het tuberculum majus is echter gering en het ligament wordt in sommige gevallen uitgebocht. De bursa subdeltoidea speelt ongetwijfeld een grote rol om deze beweging soepel te laten verlopen. Aan de caudale zijde zal juist het tegenovergestelde proces als aan de craniale zijde plaatsvinden (fig. 30). Terwijl vóór de abductie hier veel plooien in de kapsel aanwezig zijn, zal na de abductie, waarbij het caudale deel van het collum anatomicum naar lateraal verplaatst wordt, de afstand tussen de aanhechtingspunten toenemen en de kapsel uitgespannen worden.

Nauwkeurige bestudering van het vezelbeloop van het caudale deel van de kapsel leert het volgende. Aan de dorso-caudale zijde is de kapsel strak gespannen over de ter plaatse prominerende humerusbol. Aan de caudale en ventro-caudale zijde hebben de vezels een schuin beloop en wel zo dat de vezels, die aan de achteronderzijde van

het collum anatomicum vastgehecht zijn, naar het caudale deel van de voorzijde van het labrum glenoidale gaan. *Zij kruisen hierbij dus het verticale vlak. Deze vezels behoren tot het — overigens weinig scherp begrensde — ligamentum glenohumerale inferius. Deze vezels worden nu zo sterk uitgespannen, dat verder voortgaande beweging van de humerus hierdoor onmogelijk wordt.* Dit deel van de kapsel toont vele kleine strak uitgespannen en schuin — in de vezelrichting — getrokken plooien, waardoor het geheel een gerimpelde indruk maakt. Meer naar cranio-ventraal is de kapsel ruim en is een enkele grove plooi zichtbaar, die ook van latero-caudaal schuin oploopt. De opstijgende vezels, bij de hangende arm tezamen met het ligamentum glenohumerale inferius aan de onderzijde in grove plooien gelegen, blijken na het zijwaarts heffen nog enkele plooien te tonen. Het is opvallend, dat de opstijgende vezels in deze stand zich niet duidelijk als een apart onderdeel van de voorwand van de kapsel voordoen. Het ligamentum glenohumerale medium blijkt in deze stand niet uitgespannen te zijn.

Het is bekend, dat de abductie van de humerus bij de door ons onderzochte personen nooit tot 70° beperkt is, maar steeds tot ongeveer 90° ten opzichte van de romp kan worden uitgevoerd. Deze stand kan bij een deel der onderzochte preparaten niet bereikt worden, echter wel, wanneer humerus en scapula in de zojuist beschreven maximale abductiestand zonder rotatie, samen zover gedraaid worden, tot de humerus de horizontale stand inneemt. Dit zal geschieden, wanneer beide beenstukken als een geheel in het uitgangsvlak zijwaarts worden bewogen. Alle onderdelen van de scapula zullen hierdoor gedraaid zijn, dus ook de margo vertebralis. Bij deze beweging doen zich uiteraard géén wijzigingen meer in de verhoudingen van de kapsel voor. Met andere woorden, *de abductie van de humerus tot 90° in het uitgangsvlak wordt bepaald door de maximale abductie in het humero-scapulaire gewricht plus een rotatie naar lateraal van de angulus inferior scapulae.* Om vervolgens de scapula in dezelfde stand te plaatsen als bij de levende mens voorkomt bij de tot 90° zonder rotatie zijwaarts geheven arm moet de margo vertebralis over ca. 40° naar dorsaal verplaatst worden ten opzichte van het frontaal gedachte uitgangsvlak (fig. 33). Hierbij zal de cavitas glenoidalis over de humerusbol naar achteren glijden. Het dorsaal gelegen deel van de bol zal door de cavitas bedekt worden en het ventraal gelegen deel door de kapsel. Door deze beweging zullen dus alle punten gelegen aan de ventrale zijde op het collum anatomicum en het labrum glenoidale uit elkaar gaan, terwijl aan de dorsale zijde zij elkaar zullen naderen. De afstand, die de kapsel aan de voorzijde moet overbruggen, zal door het uit elkaar gaan van de aanhechtingspunten groter worden. De kapsel, die de

humerusbol aan de voorzijde bedekt, zal ter plaatse ook uitgebocht worden. Dit houdt in, dat de afstand, die in werkelijkheid overbrugd moet worden, groter zal zijn dan wanneer de punten volgens een rechte lijn verbonden konden worden. Aan de caudo-ventrale zijde zijn de uit straf bindweefsel bestaande vezels — het reeds genoemde ligamentum glenohumerale inferius — van latero-caudaal naar medio-craniaal lopend reeds maximaal uitgespannen. Deze reeds maximaal uitgespannen vezels zullen naar caudaal van de humerusbol afglijden. De plooien in het meer naar craniaal gelegen deel van de voorwand zullen gaandeweg verstrijken. Dit mede omdat het caudale gedeelte van de kapsel, waarvan zoals gezegd de vezels in caudale richting van de humerusbol afglijden, het craniale naar onderen trekt. Het gevolg is, dat de kapsel aan de voor-onderkant strak in kleine, van lateraal naar mediaal schuin oplopende rimpels uitgespannen is, terwijl een horizontale middenstrook van de voorwand vrijwel geen plooien meer toont. De opstijgende vezels zijn loodrecht op de plooien van het ligamentum glenohumerale inferius gelegen, doch zijn als een aparte bundel niet duidelijk ter plaatse zichtbaar, meer naar craniaal wel. Het ligamentum glenohumerale medium wordt in deze stand strak uitgespannen en gaat naar latero-caudaal.

Tengevolge van een verplaatsing naar dorsaal van de scapula zullen de aanhechtingpunten van het craniale kapselveld schuin tegenover elkaar komen. Daar aan de voorzijde de afstand tussen de aanhechtingpunten groter wordt, zullen de reeds aanwezige plooien verminderen, echter nog wel aanwezig blijven. Het ligamentum coracohumerale blijft ook duidelijk geplooid.

Aan de achterkant zullen door de verplaatsing van de scapula de aanhechtingpunten dichter bijeen komen en zal de te overbruggen afstand kleiner worden. Het cranio-dorsale deel van de kapsel zal een nog sterkere plooivorming tonen. Aan de achteronderzijde zijn nu ook plooien zichtbaar. Hoeveel de in een verticaal vlak zich bevindende scapula naar achteren kan worden verplaatst is afhankelijk van de voorwand.

Aan de door ons onderzochte preparaten bleek de maximale hoek, die de scapula met het frontale vlak kan maken zonder aanzienlijke vermindering van de humero-scapulaire abductie ca. 45° te zijn. Dit wil zeggen, dat bij de horizontaal gefixeerde humerus ook een geringe verplaatsing naar lateraal van de angulus inferior zal plaatsvinden. Het naar achteren draaien van de scapula komt overeen met een naar achteren bewegen van de humerus bij stilstaande scapula in het uitgangsvlak. Deze beweging van de humerus zal dus gepaard gaan met een vermindering van de heffing. De humerus bevindt zich hierna in een retroflexiestand ten opzichte van het scapulaire vlak.

P f u h l en anderen hebben uitvoerig de heffing van de humerus in de verschillende meridianen beschreven. Wanneer de scapula blijft staan in de 0-meridiaan met de margo vertebralis verticaal en de humerus wordt bewogen in de meridiaan — 40° zonder om de lengte-as te draaien, hetgeen enigszins overeenkomt met de situatie, waarin beide beenstukken zich bevinden tijdens de zojuist beschreven stand, werd door P f u h l een vermindering van de heffing waargenomen van ca. 15° . Het verschijnsel, dat bij het verplaatsen naar dorsaal van de zonder rotatie maximaal in het humero-scapulaire gewricht geheven humerus gepaard gaat met een vermindering van de heffing, zou als volgt verklaard kunnen worden. Wanneer de humerus maximaal geheven is in het scapulaire vlak, is de kapsel aan de onderzijde van de voorwand reeds uitgespannen. Bij de beweging naar dorsaal door een horizontaal vlak zou dit gebied nog verder uitgespannen moeten worden. Daar dit niet mogelijk is, zal de humerusbol uitwijken naar craniaal, waar immers nog ruimte in de kapsel aanwezig is. Hierdoor zal de heffing van de humerus echter verminderen.

Het is wel duidelijk, dat het noemen van getallen een hachelijke zaak is. Immers, wij moeten ons er van bewust zijn, dat het ons allereerst om de kapselverhoudingen te doen is en dat wij genoemde getallen slechts schattenderwijs hebben verkregen bij anatomische preparaten. Toch tonen de verkregen gegevens een overeenkomst met hetgeen bij levenden werd gevonden.

De invloed van het voorover- of achteroverkantelen van de scapula op de kapsel bij de tot 90° zijwaarts geheven arm zonder rotatie

Bij het naar voren kantelen van de scapula in de reeds beschreven stand zullen alle punten aan de craniale zijde naar voren en onderen gaan, en aan de onderzijde naar achteren en boven. Aan de onderzijde zullen de aanhechtingspunten van het ligamentum glenohumerale inferius, gelegen aan het labrum aan de voorkant en aan het collum anatomicum aan de achterkant, dichterbij elkaar komen. Aan de achterzijde zullen de punten op het labrum naar craniaal gaan. De aanhechtingspunten liggen hier reeds schuin tegenover elkaar en het vezelbeloop is van craniaal aan het labrum naar caudaal aan het collum. De spiraalvormig gewonden kapsel aan de voor- en onderzijde zal hierdoor enigszins ontwonden worden, terwijl aan de achterzijde de winding zal toenemen. Daar aan deze kant de kapsel niet strak is uitgespannen, zal een verdere heffing van de humerus mogelijk zijn. Wij zouden ons voor kunnen stellen, dat in die gevallen, waarbij de arm niet tot 90° geabduceerd kan worden op de bovenbeschreven wijze een geringe vooroverkanteling van de scapula plaats zal vin-

den, waardoor de humerus verder geabduceerd kan worden en de 90° abductiestand dus bereikt wordt. Bij kanteling naar dorsaal van de scapula, zal het tegenovergestelde proces plaatsvinden en zal juist de spiraalvormige winding in de voor- en onderwand van de kapsel versterkt worden. In de door ons bestudeerde preparaten werd gevonden, dat de kapsel al volledig uitgespannen was aan de onderzijde, zodat deze beweging onmogelijk is. Tot een achteroverkanteling blijkt de scapula dus niet in staat. Wanneer het preparaat in de stand zoals bij de tot 90° geabduceerde arm zonder rotatie voorkomt, wordt geplaatst, blijkt de scapula wel iets voorover-, doch niet achterovergekanteld te kunnen worden.

Bij onze proefpersonen kon de scapula bij de tot 90° zonder rotatie zijwaarts geheven arm niet in de eindstand gebracht worden. Aan een humero-scapulaire preparaat willen wij nagaan of deze beweging óók onmogelijk is. Indien dit zo is, kunnen wij zien welke structuren deze belemmering veroorzaken.

De eindstand van de scapula is gekenmerkt door:

1. een naar lateraal verplaatste *angulus inferior*, zodat de hoek tussen de *margo vertebralis* en een verticale lijn in het scapulaire vlak ongeveer 50° is;
2. een achteroverkanteling van de aanvankelijk verticaal staande scapula, die een hoek van ca. 40° met het frontale vlak maakt, over ca. 15° .

Reeds is geconstateerd, dat een achteroverkanteling alleen onmogelijk is. De mogelijkheid bestaat, dat door een verplaatsing naar voren van de scapulapunt een zodanige verandering in de kapsel optreedt, dat de kanteling wel mogelijk wordt. Daarom zullen eerst de kapselveranderingen worden nagegaan, die het gevolg zijn van het naar voren verplaatsen van de *angulus inferior*, terwijl de scapula in een verticaal vlak blijft, dat een hoek van ca. 40° met het frontale vlak maakt. Wanneer bij stilstaande humerus (90° abductie zonder rotatie) de scapulapunt naar voren wordt bewogen, zullen de aanhechtingspunten aan de caudale kant dichter naar en aan de craniale zijde verder uit elkaar gaan. Daar aan de craniale zijde plooien zijn, is deze beweging mogelijk. Met deze beweging kunnen wij net zolang doorgaan, totdat de *margo vertebralis* een hoek van ca. 50° met een verticale lijn maakt. Aan de voor- en onderzijde blijven de schuin oplopende vezels van het *ligamentum glenohumerale inferius*, mede uitgebocht door de humerusbol, strak gespannen. Ook het *ligamentum glenohumerale medium* staat zeer strak. Aan de craniale zijde wordt de kapsel eveneens uitgespannen.

Wanneer vanuit deze stand de scapula naar achteren gekanteld wordt, zal

het caudo-ventrale deel van het labrum enigszins naar craniaal en het craniaal gelegen ventrale deel van het labrum naar achteren gaan. De afstand tussen de aanhechtingpunten, zowel van het ligamentum glenohumerale inferius als van het ligamentum glenohumerale medium, wordt groter. Daar beide ligamenten reeds maximaal aangespannen zijn, is een kanteling naar achteren van de scapula niet mogelijk. Met andere woorden, het is onmogelijk om aan een preparaat, waarbij de humerus tot 90° zonder rotatie geabduceerd is, de scapula in de eindstand te plaatsen. Deze waarneming aan het losse humero-scapulaire preparaat komt dus overeen met de bevindingen bij onze proefpersonen. De oorzaak voor deze bewegingsbelemmering blijkt de schuine ligging van het ligamentum glenohumerale inferius en medium te zijn.

Stand III. Arm 90° geabduceerd en geëxoroteerd

In tegenstelling tot het voorgaande, zal bij de bespreking van deze stand niet uitgegaan worden van de reeds bovenbeschreven beginstand in het frontale vlak, doch van de stand, die voorkomt wanneer de humerus zonder rotatie tot 90° in het scapulaire vlak geheven is, waarbij de scapulapunt in een deel der gevallen naar lateraal is verplaatst. Evenals bij de bespreking van de tot 90° geabduceerde arm zonder rotatie, zal eerst de humerus in de gewenste stand geplaatst worden, vervolgens de scapula.

Eerst zullen nu de veranderingen nagegaan worden, die het gevolg zijn van een draaiing om de lengte-as van de tot 90° zonder rotatie geheven humerus in het scapulaire vlak (fig. 30 en 31). Wanneer wij ons een horizontaal en een verticaal vlak door de lengte-as van de humerus denken, waardoor de humerus in vier quadranten wordt verdeeld, is het duidelijk, dat elk quadrant een plaats zal opschuiven en wel als volgt: de humerusbol, tevoren grotendeels gelegen in het dorso-caudale quadrant, zal door rotatie een plaats vinden in het ventro-caudale quadrant, terwijl het ventro-caudale quadrant, waar ook een deel van de humerusbol met de aanhechtingpunten van het ligamentum glenohumerale inferius gelegen is, naar ventro-craniaal verschoven zal worden. Het tuberculum minus, voor de rotatie ongeveer in het horizontale vlak door de lengte-as van de humerus gelegen, zal erna in het verticale vlak een plaats vinden. Het zich in het ventro-craniale en dorso-craniale quadrant bevindende tuberculum majus zal na de rotatie geheel aan de dorsale kant komen te liggen. Door de rotatie zijn dus alle punten van het collum anatomicum ten opzichte van de stilstaande cavitas glenoidalis 90° gedraaid om de horizontaal gelegen lengte-as van de humerus (fig. 31).

Aan de voorkant bevindt zich een groot deel van de humerusbol. Bedenken

wij daarbij, dat het caudale deel van het collum vóór de rotatie het meest naar lateraal is gelegen, dan bevindt ná de rotatie dit gebied zich juist aan de voorzijde van het gewricht. De kapsel zal aan de voorzijde alzijdig worden uitgespannen. Waren aan de voorkant de aanhechtingspunten van het ligamentum glenohumerale inferius vóór de rotatie schuin tegenover elkaar gelegen, erna liggen zij min of meer in horizontale en iets naar lateraal oplopende richting tegenover elkaar.

Bij inspectie zijn de vezels van het ligamentum glenohumerale inferius uitgespannen over de humerusbol. De hierboven beschreven plooien (rimpelingen) zijn verdwenen. Het ligamentum glenohumerale medium is niet aangespannen en loopt schuin naar lateraal op. Het craniale deel van de voorwand is evenmin uitgespannen.

Door de veranderde stand van het tuberculum minus is de afstand tussen dit uitsteeksel en de onderzijde van het labrum in cranio-caudale richting groter geworden. De zich hiertussen bevindende opstijgende vezels van de voorwand zijn na de exorotatie strak. Dit betekent ook, dat de voorwand en de opstijgende vezels als het ware omhoog getrokken worden. Het craniale gebied, uitgespannen tussen het labrum en het nu craniale deel van het tuberculum majus, is in schuin naar achter verlopende plooien gelegen. De afstand tussen de processus coracoideus en het nu craniaal gelegen deel van het tuberculum majus en het tuberculum minus is groter geworden, doch het ligamentum coracohumerale is nog gepluoid.

Aan de dorso-craniale zijde is vóór de exorotatie de kapsel tussen het tuberculum majus en het craniale deel van het labrum zonder schuine plooien. Door de exorotatie wordt het tuberculum majus naar de dorsale zijde van het gewricht verplaatst. Hierdoor komen de aanhechtingspunten schuin tegenover elkaar te liggen en zal de kapsel in schuine plooien komen. De gehele dorsale kant van de kapsel zal dit beeld tonen. Na de exorotatie kan de humerus nog in geringe mate (ca. 10°) verder geheven worden bij stilstaande scapula. Dit komt dus overeen met de door F i c k en P f u h l gepubliceerde waarneming.

In plaats van de humerus verder te heffen, kunnen wij hem ook in de tot 90° zijwaarts geheven en geëxoroteerde stand laten staan en door de hoek, die de verticale lijn met de margo vertebralis scapulae maakt te verkleinen, hetzelfde effect bereiken, namelijk een strak gespannen kapsel aan de onderzijde. Aan de ventro-caudale zijde lopen de vezels hierbij nagenoeg horizontaal en is de kapsel geheel uitgespannen, aan de dorso-caudale zijde toont de kapsel strak getrokken plooien. De humerus is maximaal in het humero-scapulaire gewricht geheven en bevindt zich in deze stand in het scapulaire vlak en in 90° exorotatie ten

opzichte van de scapula. Wanneer in het vervolg over de tot 90° geabduceerde en geëxoroteerde humerus in het scapulaire vlak gesproken wordt, wordt hiermede steeds deze stand bedoeld.

Bij de zijwaarts geheven geabduceerde en geëxoroteerde arm maakt de scapula een hoek met het frontale vlak. Door de margo vertebralis scapulae naar achteren te draaien, kan deze stand bereikt worden (fig. 34). Tijdens deze beweging bleek de scapulapunt enigszins naar lateraal verplaatst te worden.

De cavitas glenoidalis zal hierbij over de humerusbol naar achteren glijden, zodat aan de ventrale zijde de afstand tussen de aanhechtingspunten groter gaat worden en aan de achterzijde kleiner. Aan de voorzijde zal het caput humeri nu geheel vrij komen en verder in de kapsel gaan uitbochten. Alle vezels van de voorwand zullen nu zijn uitgespannen. Dit geldt zowel voor het ligamentum glenohumerale inferius, als voor de opstijgende vezels en het ligamentum glenohumerale medium. Er blijkt dus nog ruimte in de voorste kapselwand aanwezig te zijn, waardoor deze beweging mogelijk wordt. Aan de ventrale zijde van de kapsel treffen wij twee elkaar kruisende vezelsystemen aan, die geheel strak zijn uitgespannen, namelijk het ligamentum glenohumerale inferius en de opstijgende vezels, terwijl het ligamentum glenohumerale medium de craniale peesrand van de m. subscapularis kruist.

Daar de afstand tussen de processus coracoideus en het tuberculum majus en minus door de scapulaire beweging kleiner wordt, blijkt het ligamentum coracohumerale meer in plooiën te komen. Door het glijden van de cavitas over de humerusbol naar dorsaal, zal de afstand tussen de aanhechtingspunten aan de achterzijde kleiner worden en de kapsel in dit gebied ruimer. Als gevolg van het schuin tegenover elkaar liggen van de aanhechtingspunten van de kapsel aan de dorso-craniale en aan de dorsale zijde, was al bekend, dat zij een schuin beloop hebben. Aan de dorso-caudale zijde van de kapsel zijn ook nu grove plooiën zichtbaar. Tussen het in plooiën gelegen craniale kapselveld en de sterk uitgespannen voorwand bevindt zich de craniale peesrand van de m. subscapularis.

Samenvattend kan dus gezegd worden, dat in deze stand de voorwand geheel strak is uitgespannen, terwijl de achterwand schuine grove plooiën heeft, evenals het craniale kapselveld. De humerus bevindt zich ten opzichte van het scapulaire vlak in een retroflexiestand en is geëxoroteerd ten opzichte van de scapula. De manier, waarop deze veranderingen tot stand komen, is dus op theoretische wijze beschreven. In werkelijkheid weten wij, dat tijdens de exorotatie van de humerus de scapula nagenoeg blijft stilstaan in de stand zoals voorkomt bij de tot 90° geabduceerde arm zonder rotatie. De humerus exoro-

teert op deze stilstaande scapula. Tijdens deze exorotatie vinden de veranderingen in de voorwand plaats, waarbij het ligamentum glenohumerale inferius in min of meer horizontale bundels gaat lopen en de opstijgende vezels ont-plooid worden. Het ligamentum glenohumerale medium blijft tijdens deze beweging steeds strak uitgespannen. Liep dit ligament bij maximale abductie zonder rotatie van mediaal naar latero-caudaal, na de exorotatie is het ligament uitgespannen van mediaal naar latero-craniaal.

Is de humerus in deze preparaten gefixeerd in maximale humero-scapulaire abductie met 90° exorotatie, dan is het duidelijk, dat de stand van de in een verticaal vlak zich bevindende scapula ten opzichte van het frontale vlak bepaald wordt door de uitspanning van de vezels van de voorwand, met name het ligamentum glenohumerale inferius en medium, en de opstijgende vezels. De hoek, die de verticaal staande scapula in deze stand maakt met het frontale vlak, bedraagt 30° - 40° . Er is dus geen toename ten opzichte van de stand zoals voorkomt bij de tot 90° geabduceerde arm zonder rotatie; integendeel, het lijkt zelfs of de hoek, welke gemaakt wordt bij 90° abductie zonder rotatie slechts met moeite gehandhaafd kan worden en in vele gevallen zelfs kleiner is geworden. Tijdens de inspectie bij levenden en op de röntgenfoto's hebben wij dit evenwel niet met zekerheid kunnen waarnemen. Hierbij leek de hoek, die de scapula maakt met het frontale vlak niet veranderd, evenmin was de scapulapunt verder naar lateraal verplaatst.

Wanneer de in het scapulaire vlak gelegen, maximaal geheven en geëxoroteerde humerus naar dorsaal wordt bewogen, zal de heffing verminderen. Bij de verplaatsing naar dorsaal van de zonder rotatie maximaal geheven humerus in het humero-scapulaire gewricht werd de verklaring voor dit verschijnsel gezocht in het uitgespannen onderste deel van de voorwand. Eenzelfde verklaring lijkt ook in deze situatie van kracht te zijn.

Wordt de scapula gefixeerd, terwijl de humerus zich alleen in een retroflexie-stand bevindt en heeft daarna een exorotatie plaats, dan blijkt verdere heffing over ongeveer 10° nog mogelijk. Na deze heffing zijn de vezels aan de onderzijde van de kapsel strak uitgespannen. Dit is dus geheel in overeenstemming met de publicatie van P f u h l, waarbij bleek, dat exorotatie van de humerus in de negatieve meridianen de beweging nog enigszins doet toenemen.

Tijdens de inspectie bleek bij een deel van onze proefpersonen de scapula door bewuste contractie van de m. serratus anterior bij stilstaande tot 90° geabduceerde en geëxoroteerde arm in de eindstand gebracht te kunnen worden. Aan een preparaat zal nagegaan worden of dit inderdaad mogelijk is.

De bewegingen, die de scapula moet maken om in de eindstand te komen, zijn gekenmerkt door een naar lateraal verplaatsen van de angulus inferior, waarbij het beenstuk steeds in een verticaal vlak blijft, en door een achteroverkanteling. De invloed van de eerste bewegingscomponent op de kapsel bij stilstaande humerus is gekenmerkt door een naar elkaar toe bewegen van de caudale aanhechtingspunten. Aan de craniale kant zullen zij juist uit elkaar gaan. Daar aan de craniale zijde veel plooien zijn, kan de scapula vanuit de bovengenoemde stand, steeds in het verticale vlak blijvend, met de angulus inferior naar lateraal verschoven worden, waarbij het ligamentum glenohumerale medium strak blijft. Het naar achteren kantelen van de scapula komt overeen met een geringe terugdraaiing van de geëxoroteerde humerus, waardoor de exorotatie vermindert wordt. Deze beweging blijkt zonder bezwaar te kunnen worden uitgevoerd. Hierbij valt op, dat het ligamentum glenohumerale medium strak uitgespannen blijft en vrijwel niet van plaats verandert.

De scapula kan dus bij de gefixeerde, tot 90° geabduceerde en geëxoroteerde humerus ook in het preparaat de eindstand bereiken. Reeds werd gevonden (zowel bij inspectie als aan het preparaat) dat bij de tot 90° *zonder rotatie geheven humerus* de eindstand van de scapula *niet* bereikt kon worden.

Of de scapula bij de tot 90° zijwaarts geheven arm de eindstand kan bereiken, blijkt dus afhankelijk van de kapsel en wel speciaal van de ligging van het ligamentum glenohumerale inferius en medium. Indien rotatie afwezig is, hebben de ligamenten een zodanig schuin beloop, dat één van de bewegingscomponenten van de scapula om in de eindstand te komen, namelijk de achteroverkanteling, onmogelijk is. Na de exorotatie wordt het ligamentum glenohumerale inferius naar ventraal en het ligamentum glenohumerale medium naar cranio-lateraal verplaatst en is de belemmering opgeheven.

Door de rotatie van de humerus om zijn lengte-as zullen niet alleen in de kapsel veranderingen optreden, doch ook in de extra-capsulair gelegen weefsels, bursae en spieren. De veranderingen in de bursa subdeltoidea zullen veroorzaakt worden door een verdere verplaatsing naar dorsaal van het tuberculum majus, waardoor de bursa nu geheel door het acromion wordt bedekt. Daar de afstand tussen het tuberculum en het acromion slechts een geringe is, is dit een aanwijzing, dat de bursa een belangrijke rol zal vervullen om de beweging ongehinderd en soepel te laten verlopen.

Stand IV. De maximaal geheven arm

Het kenmerk van de maximale elevatiestand is, dat zowel humerus als scapula zich in de eindstand bevinden en de humerus in het humero-scapulaire

gewricht maximaal geheven is. Beide beenstukken kunnen deze stand tegelijkertijd bereiken, doch het is ook mogelijk, dat de scapula de eerste is. In dat geval zal ten opzichte van de in de eindstand geplaatste scapula de humerus verder geheven worden.

De bewegingen van de humerus zijn gekenmerkt door:

1. een verder heffen in het frontale vlak;
2. een naar voren bewegen van het distale einde, waardoor de humerus een hoek gaat maken met het frontale en met het sagittale vlak.

De bewegingen, die door de scapula in deze laatste fase van de heffing gemaakt worden, werden reeds eerder genoemd. Zij zijn:

1. een groter worden van de hoek, die de margo vertebralis maakt met de verticale lijn in het scapulaire vlak, namelijk ca. 50° ;
2. een achteroverkantelen van het scapulaire vlak over ca. 15° .

Wij zullen eerst bespreken, hoe de humerus in het humero-scapulaire gewricht maximaal geheven wordt.

Uit het onderzoek van P f u h l en anderen is bekend, dat de humerus maximaal geheven kan worden in het humero-scapulaire gewricht, wanneer dit beenstuk min of meer in het scapulaire vlak gelegen en ten opzichte van de scapula geëxoroteerd is. Deze stand kan bereikt worden door de humerus vanuit stand III zo ver naar ventraal te verplaatsen, totdat hij om en nabij het scapulaire vlak ligt. Door deze verplaatsing zal de epicondylus medialis niet meer naar ventraal wijzen, doch naar medio-ventraal, zoals ook bij inspectie in de maximaal geheven stand gevonden wordt. Ten opzichte van de romp is deze beweging een exorotatie, zoals in hoofdstuk IX nader besproken zal worden. De stand, waarin de scapula zich bevindt is dezelfde als bij de tot 90° zijwaarts geheven arm. Het scapulaire vlak staat verticaal en maakt een hoek van ca. 40° met het frontale vlak, de margo vertebralis maakt een hoek van 20° - 30° met een verticale lijn in dit vlak. Door deze verplaatsing naar het scapulaire vlak toe, dus een opheffing van de retroflexiestand, zal de heffing van de humerus toenemen. Dit beenstuk is nu maximaal geheven en geëxoroteerd over 90° in het humero-scapulaire gewricht. Deze bewegingen van de humerus zullen plaatsvinden tijdens de verschuiving van de scapula naar de eindstand toe. Vervolgens komen nu de scapulaire bewegingen aan de beurt.

Wanneer de angulus inferior zo ver naar lateraal verplaatst wordt in het verticaal staande scapulaire vlak, dat de margo vertebralis een hoek van 50° met een verticale lijn in dit vlak gaat maken, zal ook de humerus verder ge-

heven kunnen worden. De kapselverhoudingen zijn nog steeds dezelfde als beschreven werden bij de tot 90° geabduceerde en geëxoroteerde humerus in het scapulaire vlak. De scapula heeft nog niet de eindstand bereikt. Er moet nog een achteroverkanteling van ca. 15° optreden. Bij deze kanteling zal het ventro-caudale deel van het labrum enigszins naar craniaal gaan en het dorso-caudale deel naar onderen en voren. De exorotatie van de humerus ten opzichte van het scapulaire vlak zal hierdoor verminderen en ca. 75° worden. Aan de voorzijde gaan de aanhechtingspunten van het ligamentum glenohumerale inferius aan het labrum naar craniaal. Zij komen hierdoor recht tegenover die aan het collum te liggen (fig. 35). Aan de achteronderzijde zal dit eveneens het geval zijn. De schuin naar lateraal onder verlopende vezels van het labrum naar de onderzijde van het collum zullen door deze verplaatsing van de aanhechtingspunten een rechter beloop krijgen en minder plooien tonen. De opstijgende vezels, strak bij maximale abductie en exorotatie, zullen niet geheel uitgespannen zijn. Het ligamentum glenohumerale medium, niet strak gespannen bij maximale abductie met 90° exorotatie in het scapulaire vlak, is in deze stand evenmin strak uitgespannen. Het ligamentum coracohumerale in plooien bij maximale abductie met 90° exorotatie zal in deze stand ook plooien tonen. De aanhechting van het caput longum van de m. biceps aan het craniale deel van het labrum is nu tegenover de sulcus intertubercularis gelegen.

Aan de craniale en cranio-dorsale zijde toont de kapsel plooien. Het blijkt, dat nog een geringe heffing van de humerus kan optreden, waardoor de humerusbol de onderkant van de kapsel verder kan uitspannen. De humerus bevindt zich in deze stand om en nabij het scapulaire vlak en is niet maximaal doch ca. 75° geëxoroteerd, echter wel maximaal geheven in het humero-scapulaire gewricht.

HOOFDSTUK VII

De verhoudingen in de humero-scapulaire gewrichtskapsel tijdens het voorwaarts heffen van de arm en de stand, die de humerus ten opzichte van de scapula hierbij inneemt

De standen van de beenstukken en de erbij behorende kapselverhoudingen bij heffen in een frontaal vlak werden in het voorgaande uitvoerig beschreven. Om echter een goed inzicht te krijgen in de bewegingen in het humero-scapulaire gewricht en de standveranderingen van de scapula ten opzichte van de thoraxwand met de hierbij behorende claviculastanden, zal ook het heffen in een sagittaal vlak besproken moeten worden.

A. Inspectie van de proefpersoon tijdens het voorwaarts heffen

Voorop dient gesteld te worden, dat de beginstand (de hangende arm langs het lichaam) en de eindstand (de maximaal geheven arm) identiek zijn aan die, zoals ook bij het zijwaarts heffen gevonden werden. In het literatuuroverzicht werd reeds opgemerkt, dat maximaal heffen in het sagittale vlak gepaard gaat met endorotatie. Bij inspectie van de proefpersonen bleek, dat velen de arm zonder rotatie ca. 135° kunnen heffen. *Codman* en *Lee McGregor* beschrijven een soortgelijke observatie. De eindstand werd pas bereikt, nadat enige endorotatie had plaatsgevonden. Wij zullen de standen, die de drie beenstukken tijdens het voorwaarts heffen innemen vervolgens nader bezien, waarbij het heffen en de endorotatie *na* elkaar plaatsvinden.

H u m e r u s

De beginstand, de hangende arm langs het lichaam, werd reeds uitvoerig beschreven (zie hoofdstuk III en IV). De verbindingslijn van de beide epicondyli staat loodrecht op het sagittale vlak. De arm kan zonder te roteren tot ca. 135° voorwaarts geheven worden, waarbij de epicondylus medialis steeds naar mediaal blijft wijzen. Daarna moet een rotatie optreden, waarbij de epi-

condylus van mediaal in ventro-caudale richting draait, waarna verder heffen mogelijk is en de eindstand bereikt kan worden. Daar deze standen van de humerus zo voor zichzelf spreken, kunnen zij zonder moeite worden nagebootst aan een los beenstuk en zal hierop niet nader worden ingegaan. De zojuist beschreven heffing toont wel enige verschillen met het zijwaarts heffen, waarbij abductie en exorotatie *na* elkaar plaatsvinden. Immers, de arm kan tot ca. 135° geheven worden, voordat endorotatie noodzakelijk is en deze endorotatie bedraagt minder dan 90° .

In analogie met het zijwaarts heffen vragen wij de proefpersoon de armen na 90° voorwaarts heffen 90° te endoroteren. Bij voortgaande heffing zal vlak voor de eindstand bereikt wordt een zekere terugdraaiing van de humerus plaatsvinden, waardoor de endorotatie verminderd wordt. Dit verschijnsel valt zeer duidelijk aan de epicondylus waar te nemen. Na 90° voorwaarts heffen wijst de epicondylus medialis naar mediaal, na endorotatie van 90° naar onderen. Bij verder heffen zal hij steeds meer naar voren gaan wijzen, doch pas na terugdraaiing, dus enige exorotatie, zal hij niet alleen naar ventraal doch ook enigszins naar mediaal gericht zijn, zoals in de eindstand gevonden wordt.

Scapula

De stand, die door dit beenstuk bij hangende arm langs het lichaam werd ingenomen, werd reeds uitvoerig besproken in de hoofdstukken III en IV. Bij het voorwaarts heffen van de humerus zonder rotatie tot 90° wordt de scapula langs de thoraxwand naar lateraal verplaatst, terwijl de angulus inferior naar voren gaat. In vergelijking met het zijwaarts heffen vindt de draaiing naar lateraal van het scapulaire vlak in een veel sterkere mate plaats (fig. 36 en 37). De margo vertebralis is weer zichtbaar en neemt een schuine stand in van medio-craniaal naar latero-caudaal. De beide anguli zijn palpabel. De afstand van de angulus superior tot de wervelkolom bedraagt bij de proefpersoon van wie de tekeningen werden vervaardigd ruim 8 cm (bij de tot 90° geabduceerde arm 5 cm). Ook de spina is zichtbaar. Hij loopt steil op en aan het uiteinde ervan is het acromion af te tasten. Het platte vlak van dit uitsteeksel loopt naar cranio-ventraal op. Een lijn gedacht door de processus spinosus van C 7 en het acromion is nagenoeg horizontaal gelegen. Wanneer de arm bij 90° heffen geëndoroteerd wordt, verandert de stand van de scapula niet.

Het is mogelijk om een losse scapula in dezelfde stand te plaatsen. Het verticaal geplaatste scapulaire vlak maakt een hoek van ca. 60° met het frontale vlak. De margo vertebralis maakt een hoek van 20° - 30° met een verticale lijn in dit vlak. Een duidelijke verplaatsing naar lateraal tijdens het voorwaarts

heffen wordt ook in de literatuur opgegeven, zoals onder anderen bij Strasser, Mollier en Pfuhl, al ontbreken hierover getallen. Een achteroverkanteling kon niet worden waargenomen. Wanneer de arm niet tot 90° , doch zover mogelijk in het sagittale vlak zonder endorotatie toe te laten geheven wordt, blijkt de scapulapunt vanaf de zojuist beschreven stand bij 90° langs de thoraxwand nog verder naar voren te gaan.

Na endorotatie wordt tijdens de verdere heffing de angulus superior naar de wervelkolom toe bewogen, terwijl de margo vertebralis een schuinere stand in gaat nemen van medio-craniaal naar latero-caudaal en de spina steiler gaat oplopen. Kortom de scapula komt in de eindstand en deze stand is identiek aan die, zoals beschreven werd bij het zijwaarts heffen.

Clavicula

Bij 90° heffen in het sagittale vlak maken beide claviculae een hoek van ca. 120° . Elk beenstuk maakt een hoek van ca. 30° met het frontale vlak. Deze waarde werd vrijwel bij alle proefpersonen gevonden. De hoek met een horizontaal vlak toonde individuele verschillen en varieerde van 0° - 30° . Een rotatie om de lengte-as kon niet worden waargenomen. Endorotatie van de humerus in deze stand heeft geen standverandering van de clavicula tot gevolg.

B. *De kapselverhoudingen bij heffen van de arm in het sagittale vlak*

De arm hangend langs het lichaam

Deze stand is dezelfde als bij het zijwaarts heffen. Voor een beschrijving hiervan zij dus naar hoofdstuk VI verwezen (fig. 32).

De kapselverhoudingen bij de tot 90° met en zonder rotatie voorwaarts geheven arm

Bij de tot 90° voorwaarts geheven arm maakt de scapula een hoek van ca. 60° en de humerus een hoek van 90° met het frontale vlak, dus beide beenstukken met elkaar een hoek van ca. $60^\circ + 90^\circ$ dus ca. 150° . *In deze stand bevindt de humerus zich ten opzichte van het scapulaire vlak in anteflexie.*

Bij de tot 90° zijwaarts geheven arm bevindt de humerus zich ten opzichte van het scapulaire vlak in een retroflexiestand en de scapula maakt een hoek van ca. 40° met het frontale vlak. Door de plaatsbepaling van het distaal gelegen beenstuk ten opzichte van het meer proximale gelegen komt de verandering van stand, die de humerus in de zojuist genoemde vlakken ten opzichte

van het scapulaire vlak inneemt duidelijk naar voren. Op zijn beurt blijkt ook de stand van de scapula ten opzichte van het frontale vlak veranderd te zijn.

Wordt de tot 90° zijwaarts geheven arm door een horizontaal vlak in het sagittale vlak gebracht, dan vindt niet alleen een beweging van de humerus ten opzichte van het scapulaire vlak plaats, maar tegelijkertijd een standverandering van de scapula ten opzichte van het frontale vlak. De humerus maakt ten opzichte van het scapulaire vlak een standverandering door van ca. 40° retroflexie naar ca. 30° anteflexie. Ten opzichte van de scapula beweegt de humerus dus over ca. 70° .

De scapula verandert tegelijkertijd de hoek ten opzichte van het frontale vlak van ca. 40° tot ca. 60° . Deze hoekvergroting is alleen mogelijk, indien de scapula langs de thoraxwand naar lateraal wordt verschoven. De verplaatsing van de scapula langs de thoraxwand kan duidelijk waargenomen worden bij inspectie. Dus: wanneer de tot 90° zijwaarts geheven arm door een horizontaal vlak naar het sagittale vlak toe wordt bewogen, verplaatst de arm zich ten opzichte van de romp over 90° . Een deel van deze beweging vindt in het humero-scapulaire gewricht plaats, doch een ander deel is het gevolg van een veranderde stand van de scapula ten opzichte van het frontale vlak en dus ten opzichte van de thoraxwand.

Bij het bewegen van de retroflexiestand van ca. 40° naar de anteflexiestand van ca. 30° , moet de humerus het scapulaire vlak passeren. De vraag dringt zich op, waar deze plaats bij benadering bij de mens gevonden kan worden. Inspectie van de scapula, wanneer de humerus zich halverwege het frontale en sagittale vlak bevindt, leert het volgende: de stand is slechts weinig veranderd in vergelijking met die, zoals bij de tot 90° zijwaarts geheven arm voorkomt. De scapula maakt dus een hoek van ca. 40° met het frontale vlak. Scapula en humerus zullen met elkaar een hoek van ca. 180° maken. Bij het passeren door een vlak gelegen in het midden tussen het frontale en sagittale vlak of daaromtrent zal de humerus zich in het scapulaire vlak bevinden. Dit betekent, dat wij de plaats, die de humerus bij 90° heffen in het scapulaire vlak inneemt, wel ongeveer kennen. In hoofdstuk VI hebben wij dit vlak een theoretische stand gegeven en in een frontaal vlak geplaatst. De humerus kan in deze stand al dan niet geëxoroteerd zijn ten opzichte van de scapula.

De tot 90° zonder rotatie in het scapulaire vlak geheven humerus kan door een horizontaal vlak zowel naar dorsaal als naar ventraal bewogen worden, waarbij de verbindingsslijn tussen de beide epicondyls steeds verticaal blijft (de geringe vermindering van de heffing bij het naar dorsaal verplaatsen laten wij buiten beschouwing). Wanneer de *humerus naar dorsaal* bewogen

wordt, ontstaan de kapselverhoudingen, zoals voorkomen bij *de zonder rotatie zijwaarts geheven arm*, terwijl *bij het bewegen naar voren de stand in de kapsel bereikt wordt*, zoals blijkt voor te komen *bij de voorwaarts geheven arm met endorotatie*. Met andere woorden, tijdens de verplaatsing van de tot 90° zijwaarts geheven arm naar het sagittale vlak door een horizontaal vlak doet zich ongemerkt een endorotatie voor van de arm ten opzichte van de romp. Door J o h n s t o n werd dit phenomeen, dat inhaerent is aan de beweging door de ruimte, naar voren gebracht. In het literatuuroverzicht werd reeds uitvoerig ingegaan op de door J o h n s t o n beschreven veranderingen in de verhouding tussen de humerus en de scapula bij een beweging van de humerus *door een verticaal vlak*, zoals dus *bij het heffen van de arm voorkomt*. Wij zijn tot nu toe nog niet ingegaan op de veranderingen, die in de verhouding tussen deze twee beenstukken ontstaan, wanneer de *humerus in een horizontaal vlak* wordt bewogen. In verband met de reconstructie van de standen in het sagittale vlak, zullen wij thans J o h n s t o n's beschrijving en verklaring hierover geven.

Een humerus hangend langs een stilstaande scapula in een frontaal vlak met de epicondylus medialis naar mediaal wordt eerst in een frontaal vlak zonder rotatie om de lengte-as 90° geheven, vervolgens door een horizontaal vlak 90° bewogen. Tijdens deze beweging vindt geen rotatie om de lengte-as plaats en blijft de epicondylus medialis dus naar caudaal wijzen. Daalt de humerus daarna in een sagittaal vlak eveneens zonder rotatie om de lengte-as, dan blijkt, dat de epicondylus medialis naar dorsaal wijst en niet naar mediaal zoals bij het begin van de beweging. De humerus is dus *ten opzichte van de beginstand geëndoroteerd*. Bij beweging in alle drie de vlakken is een draaiing om de lengte-as zorgvuldig vermeden. Dat deze toch opgetreden is, blijkt duidelijk, wanneer het beenstuk weer in de beginstand terug is, want dan bevindt hij zich in een geëndoroteerde stand. Wordt vanuit de beginstand de humerus in het sagittale vlak zonder rotatie om de lengte-as toe te laten geheven en vergelijken wij de nu verkregen stand met die, zoals voorkomt na de beweging van de humerus en door het frontale en door het horizontale vlak, dan blijkt een verschil tussen beide standen. Na bewegingen door het frontale en horizontale vlak bevindt de humerus zich in een geëndoroteerde stand. Daar bij het heffen in het frontale vlak een draaiing om de lengte-as is vermeden, moet tijdens de beweging door het horizontale vlak een rotatie ongemerkt hebben plaatsgevonden. De beweging van de tot 90° geheven humerus om een verticale as, dus loodrecht op de lengte-as, geeft hetzelfde *effect als rotatie om de lengte-as, wanneer de humerus naast de scapula hangt*.

Dit verschijnsel is van belang bij een reconstructie van de kapselverhoudin-

gen. Immers: *bij de verplaatsing door een horizontaal vlak van de tot 90° zijwaarts geheven en geëxoroteerde arm wordt de zonder rotatie voorwaarts geheven stand bereikt. Tijdens de horizontale beweging zal de humerus ook het scapulaire vlak passeren. In dit vlak bevindt de humerus zich in een tot 90° geabduceerde en geëxoroteerde stand. Van deze stand gaan wij bij onze reconstructie van de kapsel bij de zonder rotatie voorwaarts geheven arm uit, zij het dat wij het scapulaire vlak frontaal gelegen denken en later het gehele preparaat draaien. Hetzelfde geldt ook voor de reconstructie van de kapsel bij de voorwaarts geheven arm met endorotatie. Deze stand wordt bereikt, wanneer de tot 90° zijwaarts geheven humerus zonder rotatie, door een horizontaal vlak naar voren wordt bewogen, waarbij het scapulaire vlak wordt gepasseerd.*

De tot 90° zonder rotatie voorwaarts geheven arm

Voor een reconstructie van de kapselverhoudingen bij de tot 90° voorwaarts geheven arm wordt dus uitgegaan van de tot 90° *in het scapulaire vlak geheven humerus met exorotatie*, waarbij het scapulaire vlak frontaal gelegen is. De humerus zal vervolgens, zoals reeds werd opgemerkt, in ca. 30° *anteflexie worden gebracht of hetgeen hetzelfde is, de scapula zal met de margo vertebralis naar ventraal worden bewogen. Wanneer de arm zonder rotatie 90° voorwaarts is geheven, bevindt de humerus zich in een anteflexiestand van ca. 30° ten opzichte van het scapulaire vlak en in een exorotatiestand van 90° ten opzichte van de scapula.* Om een goed overzicht te verkrijgen van de draaiing van de margo vertebralis scapulae en de daarmee gepaard gaande veranderingen in de kapsel, kunnen wij de standen voor en na de verplaatsing, figuur 31 en 38, met elkaar vergelijken. De aanhechtingspunten van de kapsel zullen dus aan de voorzijde in medio-laterale richting elkaar naderen. Hierdoor zullen zowel het ligamentum glenohumerale inferius als het ligamentum glenohumerale medium een kleinere afstand dan tevoren gaan overbruggen. Zij blijken bij onderzoek aan het preparaat slap te zijn. In caudo-craniale richting verandert de afstand tussen het tuberculum minus en de onderzijde van de kapsel niet, zodat de opstijgende vezels uitgespannen blijven. Aan de achterzijde gaan de aanhechtingspunten, die schuin tegenover elkaar staan, uit elkaar. De te overbruggen afstand wordt hierdoor groter. De kapsel in grove schuinverlopende plooien gelegen, wordt hierdoor uitgetrokken. Deze beweging zal zover door kunnen gaan, totdat de ruimte aanwezig tussen de schuinverlopende plooien, die blijven bestaan, wordt opgevuld door de humerusbol. Het naar ventraal draaien van de margo vertebralis scapulae blijkt over meer dan 30°, tot ca. 60° mogelijk te zijn, waarbij de processus coracoideus tegen het mediale deel van

het tuberculum minus botst. Wanneer de humerus zich in het scapulaire vlak bevindt, is aan de craniale kant het ligamentum coracohumerale niet maximaal uitgespannen. Door de verplaatsing naar ventraal en lateraal van de processus coracoideus zal de te overbruggen afstand voor het ligament groter worden. Dit ligament zal strak gespannen worden, zoals op figuur 38 aangegeven is. In deze stand is het craniale kapselveld strak uitgespannen, terwijl de voorwand plooien toont. Op de grens van deze twee gebieden bevindt zich de in de gewrichtsholte gelegen bovenrand van de subscapularispees.

Bij deze beweging naar ventraal van de margo vertebralis scapulae, blijkt de angulus inferior enigszins naar lateraal verplaatst te worden. Dit is hetzelfde als een vermindering van de heffing van de humerus bij stilstaande scapula, zoals ook bij heffen in de positieve meridianen door P f u h l werd opgemerkt. De verklaring voor dit verschijnsel zal in het onderste deel van de achterwand gezocht moeten worden, waar de kapsel reeds spoedig maximaal is uitgespannen. Een verder naar voren bewegen van de humerus zou hierdoor belemmerd worden, ware het niet, dat de humerusbol naar craniaal gaat uitwijken en de heffing dus enigszins vermindert.

Wij moeten thans het preparaat in de zelfde stand als in het lichaam plaatsen. De humerus wordt horizontaal in het sagittale vlak geplaatst, de scapula maakt dan een hoek van ca. 60° met het frontale vlak; de margo vertebralis een hoek van 20° - 30° met een verticale lijn. De kapsel toont hierbij een zekere spiraalvormige winding. Aan de achterzijde bevinden zich de strak getrokken plooien van medio-craniaal naar latero-caudaal en aan de voorzijde de opstijgende vezels, die strak gespannen zijn van medio-caudaal naar latero-craniaal en aan de craniale zijde het uitgespannen ligamentum coracohumerale.

Uit het bovenstaande is het duidelijk, dat de humerus maximaal geheven is in het humero-scapulaire gewricht. Indien toch een verder heffen plaatsvindt, kan dit alleen door een verdere verplaatsing van de scapula langs de thoraxwand. Inderdaad bleek bij inspectie, dat na 90° voorwaarts heffen de angulus inferior scapulae langs de laterale thoraxwand naar voren glijdt, totdat de arm ca. 135° geheven is.

De tot 90° in het sagittale vlak geheven arm met endorotatie

Ook de kapselverhoudingen bij de tot 90° voorwaarts geheven en geëndoroteerde arm kunnen op eenzelfde wijze worden nagegaan als boven, alleen zal nu uitgegaan moeten worden van de *in het scapulaire vlak tot 90° geheven humerus zonder rotatie*, waarbij wij ons voorstellen, dat de humerus frontaal

is gelegen. (Deze kapselverhoudingen werden reeds uitvoerig in hoofdstuk VI beschreven). De in het frontale vlak gelegen scapula wordt vanuit deze stand met de margo vertebralis over 30° naar ventraal verplaatst. *Bij de tot 90° voorwaarts geheven arm met endorotatie bevindt de humerus zich in een anteflexiestand van ca. 30° ten opzichte van het scapulaire vlak en in een niet geroteerde stand ten opzichte van de scapula.* Om een goed overzicht te verkrijgen over de gevolgen van de draaiing van de scapula en de daarmee gepaard gaande kapselveranderingen, kunnen wij de twee standen, gezien van boven, van voren en van onderen, aan de hand van de figuren 30 en 39 met elkaar vergelijken. Ook nu weer zullen de aanhechtingspunten aan de voorzijde van de kapsel elkaar in medio-laterale richting naderen en aan de achterzijde uit elkaar gaan. Aan de craniale zijde bevindt de kapsel zich voor de verplaatsing reeds in plooien en dit zal eveneens erna het gevolg zijn. De aanhechtingspunten van het ligamentum coracohumerale, gelegen tussen het tuberculum majus en minus — die nu een plaats hebben aan de ventro-craniale zijde van het gewricht — en de processus coracoideus, zullen elkaar naderen, waardoor het ligament in plooien blijft.

Wanneer de aanhechtingspunten aan de voorzijde in medio-laterale richting elkaar naderen, zal aan de voorzijde het uitgespannen ligamentum glenohumerale inferius slap en geplooid worden, evenals het reeds enigszins geplooid ligamentum glenohumerale medium. De opstijgende vezels lagen reeds in plooien. In deze stand is zowel de craniale kapsel als de gehele voorwand geplooid. De achterwand toont vóór de verplaatsing van de scapula craniaal plooien, doch vrijwel geen caudaal. Door de verschuiving van de scapula gaan de aan de achterzijde gelegen aanhechtingspunten uit elkaar. De humerusbol zal de kapsel op deze plaats alzijdig uitbochten. Ook hierbij kan een geringe verplaatsing van de scapulapunt naar lateraal worden opgemerkt, waarvoor eenzelfde verklaring zal gelden als boven werd aangegeven bij de voorwaarts geheven arm. Vervolgens moet het preparaat nog in de juiste stand als in het lichaam geplaatst worden, waarbij de scapula dezelfde stand in de ruimte gaat innemen als bij de zonder rotatie voorwaarts geheven humerus.

Wordt in de zojuist beschreven stand de scapula gefixeerd, dan blijkt de humerus geëxoroteerd te kunnen worden, waarna de heffing enigszins vermindert. Dit betekent, dat na het opheffen van de exorotatie, dus door endorotatie, waardoor de stand ontstaat, waarbij de humerus zich in een anteflexiestand bevindt ten opzichte van het scapulaire vlak en niet geroteerd is ten opzichte van de scapula, de elevatie van dit beenstuk nog kan toenemen. Wij komen hier dus op de waarneming, door Fick en Pfuhl en anderen ge-

noemd, dat in een vlak ventraal gelegen van de scapula endorotatie van de humerus de heffing enigszins kan doen toenemen.

De eindstand van de arm

Uit het onderzoek van P f u h l is bekend, dat de humerus in het humero-scapulaire gewricht om en nabij het scapulaire vlak bij exorotatie maximaal geheven is. De humerus zal bij het zijwaarts heffen daarom naar voren bewogen moeten worden om in deze verhouding tot het scapulaire vlak te komen, bij voorwaarts heffen juist naar achteren moeten worden verplaatst. Er zal vrijwel geen verplaatsing ten opzichte van het scapulaire vlak nodig zijn, indien de humerus *tot 90° geheven en geëxoroteerd is in het scapulaire vlak*. Met andere woorden, de humerus kan de eindstand bereiken zonder verder te roteren, hetgeen ook bij inspectie kan worden waargenomen. De eindstand wordt bereikt door alleen een scapulaire beweging. Deze is gekenmerkt door een verder naar lateraal verplaatsen van de scapulapunt, waardoor de humerus geheven wordt, en een geringe achteroverkanteling. Als gevolg van deze laatste beweging worden de verhoudingen in de kapsel gunstiger (zie hoofdstuk VI) en kan de humerus in geringe mate verder geheven worden.

Maximaal heffen van de arm via het sagittale vlak

Hierbij wordt uitgegaan van de tot 90° *zonder rotatie voorwaarts geheven arm*. De humerus bevindt zich hierbij in een anteflexiestand van ca. 30° ten opzichte van het scapulaire vlak en is 90° geëxoroteerd ten opzichte van de scapula. De eindstand van de scapula is op de volgende wijze gekenmerkt. Het scapulaire vlak maakt een hoek van ca. 40° met het frontale vlak. De margo vertebralis maakt in het scapulaire vlak een hoek van ca. 50° met een verticale lijn. Het scapulaire vlak is naar achteren gekanteld over ca. 15°. De scapula zal vanuit de beschreven stand bij 90° heffen in het sagittale vlak een kleinere hoek met het frontale vlak gaan maken, de angulus inferior zal naar lateraal verplaatst worden en er zal bovendien een achteroverkanteling moeten optreden. Bij inspectie blijkt, dat de humerus om de eindstand te bereiken verder geheven en enigszins geëndoroteerd wordt. Daar de eindstand van de humerus altijd dezelfde is, namelijk de maximaal geheven stand in het humero-scapulaire gewricht en hij zich daarbij om en nabij het scapulaire vlak bevindt, zal dit beenstuk dus hier naar toe gedraaid moeten worden. De scapula zal een zodanige beweging maken, dat zijn vlak een hoek van ca. 40° met het frontale vlak maakt in plaats van ca. 60° en ook de

humerus zal in dit vlak komen te staan. Dit betekent, dat de scapula een hoekverandering ten opzichte van het frontale vlak van ca. 20° moet doormaken, in dien zin, dat de margo vertebralis naar ventraal zal draaien over ca. 20° . De verplaatsing van de humerus naar het scapulaire vlak zal gepaard gaan met een beweging, waardoor de epicondylus medialis niet langer naar mediaal, doch ook enigszins naar ventraal gaat wijzen. Deze beweging is ten opzichte van het scapulaire vlak een opheffen van de anteflexie-stand. Ten opzichte van de romp is deze beweging merkbaar als een endorotatie (zie hoofdstuk IX). De verplaatsing van de humerus uit de anteflexie-stand naar het scapulaire vlak toe, gaat met enige heffing gepaard in het humero-scapulaire gewricht. De kapselverhoudingen, die nu ontstaan, zijn bekend en zijn gelijk aan die, waarbij de scapula en de humerus in hetzelfde vlak bij 90° abductie met exorotatie zijn gelegen. Hoewel in werkelijkheid de bewegingen van de humerus tegelijkertijd met die van de scapula plaatsvinden, komen duidelijkheidshalve nu de resterende scapulaire bewegingen aan de beurt. De scapulapunt zal naar voren lateraal verschoven worden. De margo vertebralis zal tenslotte een hoek van ca. 50° met een verticale lijn in het verticaal staande scapulaire vlak maken. De humerus zal als gevolg van deze verplaatsing verder geheven worden. De kapselverhoudingen zijn in deze stand dezelfde als vóór deze heffing. De scapula heeft de eindstand echter nog niet bereikt, want er blijkt ook een achteroverkanteling plaats te vinden. De stand, die nu ontstaat werd reeds beschreven in hoofdstuk VI.

HOOFDSTUK VIII

De schoudergordel

Tijdens het heffen van de arm, zowel in een frontaal als in een sagittaal vlak, werden duidelijke standveranderingen in de schoudergordel opgemerkt. De standveranderingen van de scapula zijn niet alleen gekenmerkt door een vergroting van de hoek met het frontale vlak en een verplaatsing van de angulus inferior naar lateraal, doch het scapulaire vlak zal zich nu eens in een voorovergekanfelde, dan weer in een verticale of achterovergekanfelde stand bevinden. De standveranderingen van de clavicula zijn zowel gekenmerkt door een standverandering ten opzichte van het frontale en horizontale vlak als door een rotatie om de lengte-as.

In hoeverre de standveranderingen van de scapula het gevolg zijn van de bewegingsmogelijkheden in het acromio-claviculaire gewricht en het sternoclaviculaire gewricht, wordt in de literatuur tegenstrijdig beantwoord. Zijn Winslow en na hem Henke van oordeel, dat er vrijwel geen beweging in het acromio-claviculaire gewricht aanwezig is, Meyer, Lewinski, Braune en Fischer zijn juist het tegendeel toegedaan.

Bij dit onderzoek kon opgemerkt worden, dat gezien de bevindingen bij inspectie en palpatie bij de hangende arm langs het lichaam de hoek tussen de beide beenstukken ca. 60° bedraagt en na heffen tot ca. 90° zowel in het frontale als sagittale vlak ca. 90° is. Met andere woorden: de verbinding tussen scapula en clavicula laat zeker een beweging toe.

Deze verbinding is van tweeërlei aard, namelijk articulaire en ligamenteus. Het acromio-claviculaire gewricht verbindt het acromiale uiteinde van de clavicula met de mediale zijde van het acromion. De processus coracoideus wordt craniaal gekruist door het acromiale uiteinde van de clavicula en in dit gebied bevindt zich het ligamentum coracoclaviculare, waaraan twee delen kunnen worden onderscheiden: de meer naar mediaal en dorsaal gelegen pars conoïdes en de meer naar lateraal gelegen pars trapezoides.

De ingewikkeldheid van deze structuren vraagt een diepgaande studie, waar-

op wij in het bestek van dit onderzoek niet nader zullen ingaan. Er zal volstaan worden met het aanstippen van enkele punten, die reeds bij een oppervlakkige inspectie opvallen en waardoor enigszins een indruk gevormd wordt over de bewegingen, die tussen scapula en clavicula aan een preparaat mogelijk zijn. Hiertoe wordt gebruik gemaakt van een claviculo-scapulair preparaat, waaraan alleen de kapsel en het ligament nog aanwezig zijn. De clavicula wordt aan het sternale einde in een horizontale stand gefixeerd. De scapula hangt aan het acromiale uiteinde in een nagenoeg verticaal vlak en de margo vertebralis staat vrijwel verticaal.

Het scapulaire vlak kan, steeds verticaal blijvend, ten opzichte van de clavicula van hoek veranderen van ca. 60° tot ca. 90° . Indien de hoek zo klein mogelijk is, wordt het voorste gedeelte van de gewrichtskapsel uitgespannen en tegelijkertijd staat een deel van het ligament, de pars trapezoides, strak. Indien de hoek maximaal is, wordt het achterste gedeelte van de gewrichtskapsel uitgespannen en staat nu het mediale deel van de pars conoides strak. Het ligament bestaat uit twee delen, die elk bij verschillende situaties strak getrokken worden, wanneer het scapulaire vlak ten opzichte van de clavicula van stand verandert. Stellig is tussen de gewrichtskapsel en het ligament een functionele relatie vast te stellen. Dit mechanisme zal ongetwijfeld een rol spelen bij de hoekverandering, die bij inspectie en palpatie tussen de beide beenstukken kon worden waargenomen.

Ten opzichte van de gefixeerde clavicula kan de in een nagenoeg verticaal vlak zich bevindende scapula zowel achterover- als voorovergekanteld worden. In het eerste geval zal door het bewegen van de processus coracoideus naar de clavicula toe de te overbruggen afstand van het ligament kleiner worden en dus in plooien komen, in het tweede zal de afstand juist toenemen en het ligament strak uitgespannen zijn. Het is te verwachten, dat bij de hangende arm waarbij de scapula voorover is gekanteld en bij de maximaal geheven arm waarbij de scapula juist achterover is gekanteld, dit mechanisme een rol zal spelen.

Een naar lateraal verplaatsen van de angulus inferior blijkt bij een preparaat, dat op bovenbeschreven wijze is gefixeerd, nagenoeg onmogelijk. De aanhechtspunten van de pars conoides aan het craniale deel van de processus coracoideus worden hierbij immers naar caudaal verplaatst. Afhankelijk van het feit, of de zeer korte pars conoides een plooi toont of niet, zal nog enige beweging mogelijk zijn, doch deze zal de 10° niet overschrijden.

Bij het voorwaarts en zijwaarts heffen tot 90° blijkt de angulus inferior 20° - 30° naar lateraal verplaatst te zijn en in de maximaal geheven stand ca.

50°. In deze situaties maken de beenstukken met elkaar een hoek, die ca. 90° is. Indien wij de verbindingslijn tussen het sternale en acromiale uiteinde van de clavicula aannemen als een bewegings-as, is deze min of meer loodrecht op het scapulaire vlak gelegen. Er kan worden waargenomen, dat een draaiing om deze as gepaard gaat met een verplaatsing naar lateraal van de angulus inferior. Hoe deze beweging wordt overgebracht ligt buiten het bestek van dit onderzoek. Het is te verwachten, dat bij heffen de scapulapunt eerst naar lateraal wordt bewogen en als gevolg hiervan de clavicula om zijn as draait.

Het is opmerkelijk, dat bij de verplaatsing van de angulus inferior naar lateraal over 20°-30°, zoals voorkomt bij het voorwaarts en zijwaarts heffen tot 90°, een rotatie van de clavicula vrijwel niet kon worden opgemerkt. Bij maximale elevatie, waarbij de angulus inferior over ca. 50° naar lateraal is verplaatst, is deze rotatie wel duidelijk merkbaar en wordt op grond van de röntgenbevindingen op ca. 40° geschat.

Inman en Saunders kwamen op een geheel andere wijze tot eenzelfde uitkomst. Bij 90° zijwaarts of voorwaarts heffen vonden ook zij geen rotatie van de clavicula, terwijl bij maximale elevatie de rotatie 40° bedroeg.

HOOFDSTUK IX

Samenvatting en bespreking

In hoofdstuk I werd een overzicht gegeven van de onderzoeken over de bewegingen in het schoudergebied, zoals zij uit de literatuur naar voren komen.

Bij een deel der onderzoekers (Duchenne, Cathcart, Steinhausen, Inman en Saunders) was de aandacht er vooral op gericht na te gaan, op welk tijdstip de beenstukken bewogen worden. Steinhausen, Inman en Saunders konden zelfs een verhouding opstellen tussen de bewegingen van de scapula en de humerus. Niettegenstaande er ongetwijfeld waardevolle gegevens verzameld werden, moet geconstateerd worden, dat een nauwkeurige en toereikende beschrijving over de standen der beenstukken niet beschikbaar is. Dit gemis aan gegevens doet zich duidelijk gevoelen, indien men de kapselverhoudingen in het humero-scapulaire gewricht zou willen reconstrueren. Ondanks het feit, dat de bewegingsmogelijkheden in het humero-scapulaire gewricht wel het onderwerp van uitvoerige studies zijn geweest (Strasser, Shiino, Fick, Pfuhl, Braune en Fischer), kan men niet een duidelijk inzicht in de hierbij optredende kapselverhoudingen terugvinden, noch met behulp van gegevens uit de literatuur opbouwen.

Hoewel onder anderen Steinhausen, Inman en Saunders reeds terloops opmerken, dat het zijwaarts heffen gepaard gaat met een exorotatie van de arm, wordt door Martin op de noodzaak van deze beweging om de maximale elevatiestand te bereiken de nadruk gelegd. In de door hem hiervoor gegeven verklaring wordt geen rekening gehouden met de bewegingen van de schoudergordel tijdens het heffen, hetgeen zijn argumentatie verzwakt. Johnston daarentegen baseert zijn theoretische verklaring op het feit, dat zowel de humerus als de scapula bewegingen uitvoeren tijdens het heffen van de arm.

Ook bestaat er verschil van mening of tijdens het heffen van de arm bewegingen tussen de scapula en de clavicula kunnen optreden. Is volgens Winslow, Henke en Codman vrijwel geen beweging mogelijk, Meyer,

Lewinski, Braune en Fischer zijn een tegengestelde opvatting toegegaan.

In het volgende hoofdstuk (II) werd een kort overzicht gegeven over de lijn, die in dit onderzoek werd gevolgd. Het doel was om van enkele later nader te noemen standen, de ruimtelijke posities, die door de beenstukken worden ingenomen tijdens het heffen van de arm in een frontaal, sagittaal en tussenvlak te leren kennen (hoofdstuk III, IV en VII), met de hierbij behorende verhoudingen in de humero-scapulaire gewrichtskapsel (hoofdstuk VI en VII). Tenslotte werd met de nu verkregen gegevens gepoogd een verklaring te vinden voor de tijdens het heffen optredende rotaties van de humerus. De veranderingen, die in de verbindingen tussen de scapula en de clavicula ook blijken op te treden, vallen buiten het bestek van deze studie en worden slechts even aangestipt (hoofdstuk VIII).

De conclusies, waartoe dit onderzoek leidde, zullen thans beschreven worden en waar nodig van commentaar worden voorzien.

In de hoofdstukken III en IV bepaalden wij van enkele standen de positie, die de humerus, de scapula en de clavicula tijdens het zijwaarts heffen in de ruimte innemen. Dit geschiedde door inspectie en palpatie en door middel van röntgenonderzoek. De volgende standen werden onderzocht:

de arm hangend langs het lichaam: stand I;

de tot 90° geabduceerde arm zonder rotatie: stand II;

de tot 90° geabduceerde arm met exorotatie: stand III;

de maximaal geheven arm: stand IV.

In hoofdstuk VII worden de posities beschreven van de drie beenstukken, wanneer de arm tot 90° voorwaarts geheven en al dan niet geëndoroteerd is. Ook kon bij benadering worden vastgesteld, wanneer de humerus bij ca. 90° heffen in het scapulaire vlak is gelegen. Dit vlak bevindt zich halverwege tussen het frontale en sagittale vlak in en wordt daarom het midden- of tussenvlak genoemd.

Daar de humerus door zijn ligging gemakkelijk toegankelijk was voor inspectie en palpatie, kon zijn stand steeds direct bepaald worden en zal hierop niet nader worden ingegaan.

Voor de scapula was dit niet mogelijk en het volgende kan ten aanzien van de gevonden standen van dit beenstuk worden opgemerkt. Bij de hangende arm langs het lichaam maakt de scapula een hoek van ca. 30° met het frontale vlak. Dit getal werd ook door Fick genoemd, terwijl Steinhäusen 20° hiervoor opgeeft. Bovendien merkten wij hierbij een vooroverkanteling van 10° - 15° op. De margo vertebralis staat hierbij verticaal in dorso-ventrale

projectie. Bij de tot 90° zijwaarts geheven arm maakt de scapula een hoek van ca. 40° met het frontale vlak, bij het voorwaarts heffen tot 90° een hoek van ca. 60° . Ook door Strasser, Mollier en Pfuhl wordt beschreven, dat de scapula naar lateraal verplaatst wordt bij het voorwaarts heffen. Hun opmerking, dat bij het zijwaarts heffen de scapula in het frontale vlak een plaats vindt, kunnen wij niet bevestigen. De margo vertebralis maakt zowel bij het voorwaarts als zijwaarts heffen een hoek van 20° - 30° met een verticale lijn in het scapulaire vlak. Dat de scapula bij het zijwaarts heffen in een verticaal vlak staat, lijkt waarschijnlijk; hierop zal nog nader worden ingegaan.

De eindstand van de scapula is gekenmerkt door een aanzienlijke verplaatsing van de angulus inferior naar lateraal en uiteraard naar voren. De margo vertebralis maakt in het scapulaire vlak een hoek van ca. 50° met een verticale lijn, terwijl het scapulaire vlak, een hoek makend met het frontale vlak van ca. 40° , bovendien ca. 15° achterovergekanteld is.

Hoewel Steinhäusen zich met deze eindstand heeft beziggehouden en vermeldt, dat de angulus inferior over 60° naar lateraal verplaatst is en het scapulaire vlak een hoek van 45° maakt met het frontale vlak, getallen dus die een overeenkomst met de onze tonen, wordt *geen* achteroverkanteling van de scapula door hem vermeld.

Over de standen van de clavicula het volgende. Bij onze proefpersonen laat in elke stand de hoek met het horizontale vlak schommelingen zien, terwijl de bij deze stand behorende hoek met het frontale vlak een grote uniformiteit toont. Ook de draaiing om de lengte-as kon in de eindstand bij alle proefpersonen worden waargenomen. Bij een hangende arm langs het lichaam maakt de clavicula een hoek van ca. 30° met het frontale vlak, bij het voorwaarts heffen tot 90° blijft deze hoek dezelfde, doch bij het zijwaarts heffen neemt hij toe en wordt ca. 50° . Een rotatie om de lengte-as kon hierbij niet worden opgemerkt. Bevinden de scapula en de clavicula zich in de eindstand bij de maximaal geheven arm (of bij de tot 90° zijwaarts geheven en geëxoroteerde arm, waarbij de m. serratus anterior bewust is aangespannen), dan kan behalve een hoek van ca. 60° met het frontale vlak een draaiing om de lengte-as van ca. 40° worden waargenomen.

Vervolgens werden de projectiebeelden van de scapula en de clavicula tijdens het zijwaarts heffen in de bovengenoemde standen bestudeerd, waarbij enkele markante verschijnselen naar voren kwamen. Ook in de literatuur wordt herhaaldelijk gebruik gemaakt van projectiebeelden, zoals zij verkregen worden door middel van röntgenonderzoek. In deze studies is echter de aandacht meer gericht op de veranderingen in de onderlinge verhouding tussen de beenstuk-

ken, dan op een nauwkeurige analyse van het projectiebeeld van hetzij de scapula, hetzij de clavicula of de humerus zelf.

Onze bevindingen in dit opzicht kunnen als volgt worden samengevat. De vorm en de stand van de processus coracoideus ten opzichte van de cavitas glenoidalis, het acromion en de spina kunnen ons, tezamen met de stand van de margo vertebralis en axillaris inlichtingen verschaffen over de stand van de scapula. De lengte, in dorso-ventrale projectie, van de processus coracoideus wordt bepaald door de hoek, die de scapula met het frontale vlak maakt. *Wordt de scapula in het frontale vlak geplaatst, dan wordt dit uitsteeksel zowel mediaal als lateraal van de cavitas gevonden, terwijl de processus ook op het acromion is geprojecteerd. Deze stand werd nooit op de door ons vervaardigde röntgenfoto's van levenden teruggevonden. Alleen in die standen, waar de scapula naar de wervelkolom is getrokken, wordt het uiteinde van de processus coracoideus ook even aan de laterale zijde van de cavitas geprojecteerd.* De stand, die gevonden wordt wanneer het beenstuk in een frontaal vlak is gelegen, wordt echter nooit bereikt. Ook de stand van de processus coracoideus ten opzichte van de spina is van belang, daar bij vooroverkanteling hij geheel op de spina, en bij achteroverkanteling craniaal van de spina zal worden geprojecteerd. Dit is duidelijk waarneembaar bij de stand van de hangende arm en bij maximale elevatie. Voor die standen, waarbij de angulus inferior slechts weinig naar lateraal is verplaatst, zoals voorkomen bij de tot 90° zijwaarts geheven arm, kan de processus coracoideus zowel op de spina als erboven worden geprojecteerd. Op dit verschijnsel zal nog nader worden ingegaan.

Bij de eindstand van de maximaal geheven arm heeft de projectie van de processus coracoideus een karakteristieke vorm, namelijk een kromme tand, die uitsteekt boven de spina en waarvan de punt op het acromiale uiteinde van de clavicula wordt geprojecteerd. Dit beeld kan alleen bereikt worden wanneer de scapula naar achteren is gekanteld, hetgeen zoals reeds werd gemeld over ca. 15° plaatsvindt.

Het projectiebeeld van de clavicula was bij de hangende arm en de tot 90° geabduceerde arm zonder en met rotatie, waarbij de m. serratus anterior niet bewust was aangespannen, gekenmerkt door twee evenwijdige lijnen, die nu eens horizontaal zijn gelegen dan weer schuin oplopen en waarbij aan de onderzijde even de tuberositas zichtbaar kan zijn, *terwijl in de eindstand de clavicula een S-vorm toont.* Deze vorm wordt veroorzaakt door de rotatie om de lengte-as. Aan de onderzijde van het acromiale uiteinde is hierbij de tuberositas coracoidea duidelijk zichtbaar.

Voordat wij over de kapselverhoudingen gingen spreken in de verschillende standen, gaven wij een kort overzicht over de anatomie van de gewrichtskapsel, zoals deze de laatste jaren in de literatuur werd vastgelegd. Als de belangrijkste punten in dit opzicht kunnen de bursae genoemd worden, waarvan de bursa subdeltoidea en de bursa subcoracoidea zich extra-capsulair bevinden, terwijl bursa I en bursa II aan de voorzijde van het gewricht onder de processus coracoideus gelegen, hiermee communiceren. Een ander punt is de uitbreiding van het craniale kapselveld over de voorzijde van de m. subscapularis en de opstijgende vezels aan de ventrale zijde van de kapsel, die ook reeds door Strasser zijn beschreven. Bovendien zij genoemd, dat het ligamentum glenohumerale inferius een schuin beloop heeft van caudo-dorsaal aan het collum naar caudo-ventraal aan het labrum. Het ligamentum glenohumerale medium, bevestigd aan het craniale deel van het labrum glenoidale, loopt naar lateraal en wordt in de kapsel opgenomen even caudaal van de aanhechting van de subscapularispees aan het tuberculum minus.

In hoofdstuk VI en VII kwamen de kapselverhoudingen in het humero-scapulaire gewricht aan de orde bij enkele standen tijdens het zijwaarts en voorwaarts heffen en bij het heffen in een vlak tussen beide in gelegen, het tussen- of middenvlak genoemd. De graad van de heffing in het gewricht werd slechts schattenderwijs bepaald. Deze wijze van benadering is juist omgekeerd aan die, welke in de literatuur wordt vermeld, waarbij zoals wij reeds zagen de nadruk op de grootte van de heffing valt. Wij gingen uit van een frontaal gelegen uitgangsvlak, waarin de humerus en de scapula zich beide bevinden. Wordt de humerus in dit vlak, dat tegelijkertijd het scapulaire vlak is, tot 90° zonder rotatie geheven, dan moet de scapulapunt in het merendeel der gevallen over 10° - 20° naar lateraal verplaatst worden. Vanuit deze stand kon de humerus over 90° geëxoroteerd worden en kon de heffing over ca. 10° toenemen. Het heffen van de humerus in het scapulaire vlak zonder rotatie werd uitvoerig beschreven in hoofdstuk VI (fig. 30). Aan de bovenkant ondervindt het tuberculum majus geen belemmering van de fornix humeri; de kapsel komt ter plaatse in plooiën terwijl aan de onderkant het onderste deel van het ligamentum glenohumerale inferius, dat schuin van dorso-caudaal aan het collum naar ventro-caudaal aan het labrum loopt, wordt uitgespannen. *Dit uitgespannen ligament belemmert elke verdere heffing. Ook endorotatie in deze stand is onmogelijk.* Hierbij toch zouden de vezels, die aan het caudo-dorsale deel van de humerus aanhechten naar dorso-craniaal bewogen worden, zodat het ligament nog verder aangespannen zou worden. Endorotatie aan een preparaat zal dan ook alleen mogelijk zijn, wanneer de heffing niet maximaal is, waar-

door het ligamentum glenohumerale inferius nog niet volledig strak staat. *Daar endorotatie van de humerus hetzelfde effect heeft voor de kapsel als de achteroverkanteling van de scapula, is ook deze laatste beweging onmogelijk.* Exorotatie bleek in onze preparaten over 90° mogelijk te zijn. De humerusbol draait hierbij van dorso-caudaal naar ventro-caudaal. De kapselveranderingen, die hierdoor op de voorgrond komen, werden uitvoerig in hoofdstuk VI beschreven (fig. 31). Een van de kenmerken is, dat het ligamentum glenohumerale inferius geheel aan de voorkant komt te liggen en wordt uitgespannen door de aan de ventro-caudale zijde zich bevindende humerusbol. Door de exorotatie vermindert de heffing niet, integendeel, een verder heffen blijkt nog mogelijk. Voor een verklaring van dit verschijnsel is de ligging van het ligamentum glenohumerale inferius van essentieel belang. Immers na de rotatie overbruggen deze vezels de gewrichtsspleet rechtstreeks, hetgeen een grotere speling geeft, terwijl de vezels, die na de exorotatie aan de onderzijde komen te liggen nog enige verdere heffing toelaten. Ook het ligamentum glenohumerale medium heeft een schuine ligging. Bij de abductie zonder rotatie loopt het ligament van craniaal aan het labrum naar latero-caudaal, terwijl het zich na de rotatie juist naar latero-craniaal uitstrekt. De betekenis van het schuine beloop van het ligamentum glenohumerale inferius en medium bij maximale abductie in het scapulaire vlak voor de rotatie, kan onder meer gevonden worden in het feit, dat *een exorotatie zonder verlies van de heffing mogelijk* blijkt te zijn. Na de exorotatie wordt een toename van de heffing van ongeveer 10° gevonden. Deze toename is overigens het duidelijkst, wanneer de exorotatie over 75° heeft plaatsgevonden en kapselverhoudingen ontstaan, zoals bij de maximaal geheven arm gevonden worden (zie hoofdstuk VI, fig. 35).

Om de bewegingen van de scapula te elimineren bij het zijwaarts en voorwaarts heffen van de arm, werd de stand van de humerus steeds ten opzichte van het scapulaire vlak bepaald. De humerus bevindt zich bij het zijwaarts heffen tot 90° in een retroflexiestand van ca. 40° ten opzichte van het scapulaire vlak. Wanneer de arm zonder rotatie zijwaarts is geheven, is de humerus alleen in een retroflexiestand ten opzichte van het scapulaire vlak en is hij ten opzichte van de scapula niet geroteerd. Is de arm echter tot 90° zijwaarts geheven en geëxoroteerd, dan bevindt de humerus zich in een retroflexiestand ten opzichte van het scapulaire vlak en in exorotatie ten opzichte van de scapula. Bij het heffen in een sagittaal vlak bevindt de humerus zich in een anteflexiestand van ca. 30° ten opzichte van het scapulaire vlak. De humerus bevindt zich niet alleen in een anteflexiestand, doch is wanneer de arm alleen voorwaarts is geheven bovendien ten opzichte van de scapula geëxoroteerd over 90° . De

humerus bevindt zich in een anteflexiestand zonder rotatie, wanneer hij voorwaarts geheven en geëendoroteerd is. Bij het heffen tot 90° in een vlak ongeveer tussen het sagittale en frontale in gelegen, bevindt de humerus zich om en nabij het scapulaire vlak. Is de arm in dit vlak geheven en is de onderarm hierbij in een horizontaal vlak gelegen, zodat de verbindingslijn der epicondyli verticaal staat, dan bevindt de humerus zich zonder rotatie in het scapulaire vlak. Wordt de arm echter zodanig geheven dat de onderarm verticaal staat, waarbij de verbindingslijn der epicondyli horizontaal is gelegen, dan ligt de humerus in het scapulaire vlak en bevindt zich bovendien in een exorotatiestand ten opzichte van de scapula.

Bij de verplaatsing van de humerus zowel naar dorsaal als naar ventraal ten opzichte van het scapulaire vlak, onverschillig of hij al dan niet is geëxoroteerd, vermindert de heffing. Bij exorotatie in het scapulaire vlak en in de retroflexiestanden neemt de heffing enigszins toe, bij exorotatie in de anteflexiestanden juist af (hetgeen hetzelfde is als een toename na endorotatie). Deze bevindingen komen overeen met de vondsten van F i c k en P f u h l. Alleen de lage waarden, die voor de exorotatie door P f u h l worden opgegeven, doen ons twijfelachtig aan.

Bij de verplaatsing van de humerus naar dorsaal vanuit het scapulaire vlak, waarin hij zonder rotatie is geheven, ontstaan kapselverhoudingen, die uitvoerig in hoofdstuk VI beschreven werden. De aanhechtingspunten zullen aan de voorzijde uit elkaar gaan en tegelijkertijd zal het caput humeri in de kapsel gaan uitbochten. De achterwand, reeds in plooiën, zal sterker geplooid worden. Ook aan de craniale zijde zijn plooiën. Wordt de humerus in een horizontaal vlak naar dorsaal bewogen, dan zal het onderste deel van de voorwand, reeds maximaal uitgespannen, nog verder uitgespannen moeten worden. Daar dit onmogelijk is, zal de humerusbol uitwijken naar een plaats, waar nog ruimte in de kapsel aanwezig is, dus naar craniaal. Het schuin gelegen ligamentum glenohumerale inferius zal naar caudaal afglijden en komt in fijne plooiën; de middenstrook van de voorwand wordt strak uitgespannen. Deze verschuiving van de humerusbol naar craniaal betekent, dat tegelijkertijd met de verplaatsing van de humerus naar dorsaal, de heffing vermindert. Tijdens de beweging naar dorsaal schuift de humerus onder het schuin van dorsaal naar craniaal oplopende acromion zonder hiertegen aan te botsen. De op deze plaats zich bevindende bursa subdeltoidea zal hierbij ongetwijfeld een belangrijke rol spelen, waarop door P f u h l en G a l e m a (1950) reeds werd gewezen. Na ongeveer 45° is de gehele voorwand uitgespannen en geeft een verdere verplaatsing naar dorsaal een sterke vermindering van de heffing. Een soortgelijke verkla-

ring kan voor de vermindering van de heffing opgesteld worden, wanneer de naar dorsaal bewogen humerus geëxoroteerd is. Over de verschijnselen bij exorotatie in de retroflexiestand zal hieronder nader worden ingegaan.

De met en zonder rotatie maximaal in het scapulaire vlak geheven humerus heeft aan de achterzijde in de kapsel nog ruimte. Hierdoor kan verklaard worden, dat het naar voren bewegen van de humerus aanvankelijk vrijwel zonder verlies van de heffing mogelijk is, hoewel individuele verschillen zijn op te merken. Het cranio-dorsale deel van de kapsel bevat nog ruimte, nadat de onderkant reeds is uitgespannen. Hierdoor zal, wanneer de vermindering van de heffing optreedt, deze gering zijn. De anteflecterende beweging kan tot ca. 60° worden voortgezet.

Op dit punt aangekomen is de achterwand van de kapsel maximaal uitgespannen en ondervindt de ventrale zijde van de humerus een belemmering van de aanwezige processus coracoideus. Dit uitsteeksel stoot tegen het tuberculum minus aan en het is afhankelijk van de rotatiestand van de humerus, waar deze botsing precies plaatsvindt. Een verder naar ventraal bewegen is alleen mogelijk, wanneer een zeer sterke daling van de heffing optreedt, waarbij uiteindelijk de standen ontstaan van de hangende humerus langs de scapula.

Het tuberculum minus ondervindt bij de maximaal geheven en geëxoroteerde humerus in een anteflexiestand geen belemmering van het ligamentum coracoacromiale. Dit toch werd op een tekening door Lee McGregor als verklaring gegeven voor het feit, dat bij het voorwaarts heffen, waarbij de humerus zich dus in een anteflexie- en exorotatiestand bevindt, een endorotatie noodzakelijk is.

Er werd reeds een verklaring gegeven voor de toename van de heffing, die optreedt wanneer de in het scapulaire vlak gelegen humerus ten opzichte van de scapula wordt geëxoroteerd. Deze verklaring is ook van kracht bij de exorotatie van een in een retroflexiestand zich bevindende humerus. De veranderingen, die het gevolg zijn van exorotatie van de humerus in de retroflexiestand werden uitvoerig beschreven in hoofdstuk VI. De voornamelijk aan de dorso-caudale zijde gelegen humerusbol draait naar ventraal en het tuberculum majus naar dorsaal. De voorwand is alzijdig uitgespannen. Het ligamentum glenohumerale inferius vormt hiervan een onderdeel en de vezels lopen enigszins naar lateraal op. Het uitgespannen ligamentum glenohumerale medium gaat naar latero-craniaal en kruist de craniale peesrand van de m. subscapularis. Aan de onderzijde zijn in de kapsel nog plooiën en een verschuiving naar craniaal van de humerusbol onder de uitgespannen voorwand is daardoor mogelijk. Tegelijkertijd is door het naar dorsaal draaien van het tuberculum majus

meer ruimte gekomen tussen de humerus en het acromion, waardoor een toename van de heffing inderdaad ook mogelijk is.

Bevindt de humerus zich in een *anteflexie* en *exorotatiestand*, dan zal juist een opheffing van de rotatie verdere heffing bevorderen. In deze stand van de humerus zijn schuine strak getrokken plooien aan de achterzijde van de kapsel aanwezig tezamen met het strakke ligamentum coracohumerale en de uitgespannen opstijgende vezels. Deze systemen belemmeren een verder heffen. Na endorotatie uit deze exorotatiestand zullen de plooien aan de achterzijde verdwijnen en krijgen de kapselvezels aldaar een recht beloop, terwijl de ventrale en craniale kapselwand in plooien komt. Er is een grotere speling in de kapsel ontstaan en een heffing is nog enigszins mogelijk.

Door de kennis over de kapselverhoudingen kunnen enkele feiten, waargenomen bij inspectie en palpatie en het röntgenonderzoek, nader verklaard worden. In hoofdstuk IV gaven wij een beschrijving van de stand, die een losse scapula bij de tot 90° zonder rotatie zijwaarts geheven arm inneemt. Bij de toetsing van de juistheid van deze stand bleek, dat afhankelijk van de hiervoor gebruikte scapula de processus coracoideus nu eens op de spina, een andere maal craniaal ervan werd geprojecteerd. Eenzelfde verschijnsel werd ook waargenomen op de röntgenfoto's, die van levenden in deze stand waren vervaardigd. Het is voor de hand liggend het verschil in projectiebeelden op de röntgenfoto's aan dit verschijnsel toe te schrijven. Ook een andere verklaring is mogelijk. Door de scapula, waarbij de processus coracoideus op de spina geprojecteerd wordt, enigszins naar achteren te kantelen, wordt een beeld bereikt waarbij dit uitsteeksel juist craniaal van de spina gelegen is. Ook het omgekeerde is waar. Door de scapula, waarbij de processus coracoideus craniaal van de spina gelegen is, enigszins voorover te kantelen, wordt een beeld bereikt, waarbij het uitsteeksel op de spina geprojecteerd wordt. Het aantal graden waarover deze kantelingen kunnen plaatsvinden is gering en ligt in de orde van grootte van ca. 5° . In hoofdstuk VI bleek bij de bespreking *over de kapselverhoudingen bij de zonder rotatie maximaal zijwaarts geheven arm, dat de scapula niet achterovergekanteld kon zijn. Een geringe vooroverkanteling zou wel mogelijk zijn en de heffing van de humerus nog enigszins bevorderen.* Het lijkt daarom waarschijnlijk, dat bij de zijwaarts geheven arm de scapula verticaal staat of enigszins voorovergekanteld doch niet achterovergekanteld is. Dus: het verschil in projectiebeeld van de processus coracoideus, dat bij de tot 90° zijwaarts geheven arm gevonden wordt, zal verklaard moeten worden door het verschil in de plaats, die dit uitsteeksel inneemt ten opzichte van de

rest van de scapula. *Het projectiebeeld is dus afhankelijk van het beenstuk, waarvan de foto werd vervaardigd.*

Op een andere waarneming, die tijdens de inspectie bij het zijwaarts heffen gedaan werd en beschreven is in hoofdstuk III, willen wij nog ingaan. Het betreft het feit, dat *bij de tot 90° zonder rotatie* zijwaarts geheven humerus de *scapula niet en na exorotatie wel* de eindstand, zoals voorkomt bij maximale heffing, kan bereiken. De kapselverhoudingen zijn in beide standen bekend. Het meest karakteristieke is, dat bij de tot 90° zijwaarts geheven humerus zonder rotatie het ligamentum glenohumerale inferius getordeerd aan de onderzijde van de kapsel is gelegen en het ligamentum glenohumerale medium naar latero-caudaal over de humerusbol heen loopt en strak is uitgespannen. Bij de tot 90° zijwaarts geheven humerus met exorotatie heeft het eerstgenoemde ligament aan de voorzijde van de kapsel een plaats gevonden en het uitgespannen ligamentum glenohumerale medium gaat naar latero-craniaal. In hoofdstuk VI werd getracht in een kapselpreparaat, dat was geplaatst in de stand zoals voorkomt bij de tot 90° zijwaarts zonder rotatie geheven arm, de scapula tot de eindstand te bewegen. Het schuine vezelbeloop van de beide ligamenten, uitgespannen door de humerusbol, bleek een achteroverkanteling van de scapula te verhinderen. Heeft de exorotatie plaatsgevonden, waarbij het ligamentum glenohumerale inferius naar de ventrale zijde en het ligamentum glenohumerale medium naar latero-craniaal wordt verplaatst, dan kan de scapula de eindstand wel bereiken. Tijdens deze beweging valt op, dat het laatstgenoemde ligament niet van stand verandert. *Het schuine beloop van het ligamentum glenohumerale inferius en medium tezamen met de sterke uitspanning door de humerusbol verhindert een achteroverkanteling van de scapula, een beweging, die noodzakelijk is om de eindstand te bereiken.*

Hoe ver de humerus in het humero-scapulaire gewricht in de verschillende vlakken geheven kan worden, werd dus steeds door de kapselverhoudingen bepaald. *) Het ligamentum coracoacromiale vormde hierbij geen belemmering. Steeds kon het tuberculum majus onder het ligament geschoven worden, waarbij opviel, dat de ruimte tussen deze structuren gering is.

De door Martin gegeven verklaring, dat juist het ligamentum coracoacromiale bij het zijwaarts heffen de verder voortgaande beweging zou belemmeren, lijkt na het bovenstaande onwaarschijnlijk. *De oorzaak voor de belemmering moet in het strak getrokken schuin gelegen ligamentum glenohumerale inferius en medium gezocht worden.* Weliswaar is de afstand tussen het tuber-

*) Een opmerking in deze zin wordt ook bij Cleland (1884) gevonden. Een nauwkeurige beschrijving van de veranderingen, die in de kapsel optreden, wordt door hem niet gegeven.

culum majus en het ligamentum coracoacromiale gering en zal door exorotatie dit tuberculum meer plaats vinden onder het acromion, doch tegelijkertijd zal ook de kapseltorsie verdwijnen en is, daar aan de achteronderzijde van de kapsel enige plooien na exorotatie aanwezig zijn, een verder heffen over nog ca. 10° mogelijk. De maximaal geheven stand van de arm kan pas bereikt worden, door verdere beweging van de schoudergordel, waarop in hoofdstuk VIII slechts oppervlakkig werd ingegaan.

Bij de beschrijving van de kapselverhoudingen hebben wij in de verschillende standen een sterke plooivorming kunnen opmerken. Wij doen er goed aan ons te realiseren, dat deze waarnemingen aan kapselpreparaten werden verricht. Gezien de hechtheid, waarmee de pezen en spieren met de kapsel zijn verbonden is het niet onmiddellijk aan te nemen, dat deze plooien in deze vorm ook in werkelijkheid voorkomen. Wel is het duidelijk, dat de kapselpreparaten informatie geven over de mogelijkheden en beperkingen in de kapsel gelegen en over beschikbare en in bepaalde standen overvloedige speling in de kapsel. Het vraagstuk hoe die ruimte in de kapsel, die zich in de kapselpreparaten als plooien voordoet, in de structurele verhoudingen tussen pees en kapsel en ook in de kapselwand zelf wordt verwerkt, valt buiten het bestek van deze studie.

Een van de opvallende verschijnselen van de anatomie van de humero-scapulaire gewrichtskapsel is de ingewikkelde structuur, die aan de ventrale zijde van de kapsel aanwezig is, bestaande onder andere uit het ligamentum glenohumerale inferius en medium, het opstijgende vezelsysteem, de lamina profunda en de subscapularispees. De lamina profunda ontbreekt aan de laterale zijde van het gewricht, waardoor de craniale peesrand in de gewrichtsholte uitsteekt. Op deze plaats bevinden zich de van het craniale kapselveld afkomstige vezels, die over de subscapularispees heen lopen. Het schuin gelegen ligamentum glenohumerale medium bevindt zich meer naar dorsaal en mediaal ter hoogte van deze plaats en vormt de verbinding tussen de voorwand en het labrum glenoidale (zie hoofdstuk V).

Het is bovendien een opmerkelijk feit, dat de m. subscapularis in de kapsel is opgenomen en door de uitbreiding van het craniale kapselveld wordt bedekt, waardoor de voorwand meerlagig is geworden. Het lijkt hierbij niet onwaarschijnlijk, dat door deze bouw van de voorwand een situatie is geschapen, waardoor een verschillend gedrag in deze lagen mogelijk is.

Behalve de zojuist genoemde uitbreiding, zet het craniale kapselveld zich ook voort over de voorzijde van de processus coracoideus. Bij de bespreking van het craniale kapselveld in de verschillende standen konden plooien opgemerkt worden, die van medio-craniaal naar latero-caudaal aan de achterzijde

verlopen. Door de zojuist genoemde uitbreiding van het craniale kapselveld zal een afglijden naar achteren van dit gebied verhinderd worden. De processus coracoideus is dus een fixatiepunt voor de van het craniale veld afkomstige vezels. Doch ook de lamina profunda is met de processus coracoideus verbonden, zij het meer met het mediaal gelegen gedeelte. Dit uitsteeksel blijkt dus niet alleen een aanhechtingspunt voor vezels van het craniale, doch ook van het ventrale kapselveld te zijn.

Bij de verplaatsing van de tot 90° met en zonder rotatie in het scapulaire vlak geheven humerus naar dorsaal wordt de voorzijde van de kapsel geheel uitgespannen. De insertie van de m. subscapularis wordt naar lateraal en bij rotatie ook naar craniaal gedraaid. De m. subscapularis zal hierbij een grote afstand moeten overbruggen, daar hij immers de gehele uitgespannen voorwand bedekt. Bij verplaatsing van de humerus naar ventraal vanuit het scapulaire vlak zal juist het tegengestelde plaatsvinden en de voorwand geplooid worden. Bij deze verplaatsingen van de humerus naar dorsaal en ventraal treden verschuivingen van de subscapularispees en -spier ten opzichte van de processus coracoideus en de ventrale scapulawand op. De aan de ventrale zijde van de lamina profunda gelegen bursa I, uitstulping van de gewrichtsholte langs de subscapularispees zal hierbij een bescherming vormen voor de peesrand tegen al te grote pressie tegen en schuring langs de processus coracoideus, waar hij zich juist onder bevindt. Op zijn beurt lijkt het waarschijnlijk, dat bursa II dorsaal gelegen van de lamina profunda een bescherming vormt voor de er overheen gelegen pees en spier tegen al te grote pressie tegen de scapulawand, zoals voor zal komen bij verplaatsing naar dorsaal van de humerus.

Bij het zoeken naar een nadere verklaring voor de noodzakelijke rotaties, die tijdens het heffen optreden, bleek reeds, dat Martin's opvatting hierover ontoereikend was. In de reeds genoemde verklaring van Johnston werd rekening gehouden met de bewegingen, die door de humerus en de scapula tijdens het heffen worden uitgevoerd. Uitgaande van het feit, dat bij de maximaal geheven arm de beenstukken altijd in dezelfde stand ten opzichte van elkaar staan, zullen zij om dit te bereiken elk afzonderlijk, afhankelijk van de actuele situatie bepaalde wegen gaan, waarbij rotaties noodzakelijk zullen zijn om steeds dezelfde eindstand te bereiken. Door Johnston werd aangenomen, dat in de eindstand de humerus met beide epicondylen in het scapulaire vlak is gelegen, terwijl dit vlak een verticale stand inneemt.

Het volgende kan worden opgemerkt over de stand van de humerus ten opzichte van de scapula en het scapulaire vlak bij de verschillende standen

van de arm. Wanneer de arm langs het lichaam hangt, bevindt de humerus zich in een exorotatiestand van ca. 30° ten opzichte van de scapula en *alleen door endorotatie kan hij in het scapulaire vlak worden geplaatst*. Wordt de humerus vanuit deze hangende stand langs het lichaam tot 90° geheven in het frontale vlak zonder rotatie om de lengte-as toe te laten, dan bevindt hij zich in een retroflexiestand. Bij deze heffing tot 90° wordt dus de 30° exorotatie omgezet in een retroflexiestand. *Het opheffen van de retroflexiestand door een beweging van de humerus door een horizontaal vlak naar het scapulaire vlak toe, zal hetzelfde effect hebben als een endorotatie van de langs het lichaam hangende arm. In beide gevallen zal de humerus met de beide epicondyli een plaats vinden in het scapulaire vlak.* Het enige verschil is dat bij opheffing van de retroflexiestand de humerus 90° geheven is in het scapulaire vlak (hierop werd in hoofdstuk VII reeds ingegaan).

Wordt de humerus vanuit de zojuist genoemde retroflexiestand tot ca. 180° door het frontale vlak geheven, dan zal hij verticaal komen te staan. Daar geen rotatie om de lengte-as heeft plaatsgevonden, zal de epicondylus medialis naar lateraal wijzen. Indien wij voorlopig aannemen, dat de scapula verticaal staat en een hoek van 40° met het frontale vlak maakt, zal de humerus zich dus in het scapulaire vlak bevinden, doch nu geëndoroteerd zijn. *Pas nadat een exorotatie over ca. 40° heeft plaatsgevonden, zullen ook beide epicondyli in het scapulaire vlak zijn gelegen.* Op deze noodzakelijke exorotatie, die zal verhinderen, dat de humerus zich in een geëndoroteerde stand bevindt bij maximale heffing, werd reeds in het literatuuroverzicht uitvoerig ingegaan.

Bij de maximale elevatie, zoals beschreven werd in hoofdstuk VI en VII bevindt zich de humerus om en nabij het scapulaire vlak en staat in een exorotatie ten opzichte van de scapula. Voorlopig nemen wij aan, dat deze exorotatie 90° bedraagt en de scapula verticaal staat. *Dit betekent, dat bij het heffen in het frontale vlak eerst na de reeds genoemde noodzakelijke exorotatie — die dus tot een nulstand leidt ten opzichte van de scapula — er nog een rotatie zal moeten plaatsvinden, die tot de noodzakelijke exorotatie van de humerus in het humero-scapulaire gewricht aanleiding geeft.*

Bij het zijwaarts heffen is reeds bekend dat na 90° een exorotatie van 90° plaatsvindt. Dus: wanneer de tot 90° zijwaarts geheven en geëxoroteerde humerus verder bewogen wordt door het frontale vlak op de boven beschreven wijze, zal de humerus in de eindstand een deel van zijn exorotatie verloren hebben. Indien de verticaal staande scapula een hoek van 40° met het frontale vlak maakt, zal dit verlies dus 40° zijn. Wanneer de humerus bij maximale elevatie in het scapulaire vlak gelegen is en 90° geëxoroteerd is ten opzichte

van de scapula, zal er dus een *exorotatie nodig zijn om dit verlies te compenseren*. Dat wil zeggen, dat deze noodzakelijke exorotatie even groot moet zijn als die, welke te niet is gegaan tijdens het heffen van 90° tot 180° of tot de maximale elevatiestand.

Wanneer wij door middel van inspectie nagaan, wat zich tijdens het heffen in een frontaal vlak in werkelijkheid afspeelt, dan blijkt na 90° heffen eerst een exorotatie over 90° plaats te vinden en daarna tijdens het bereiken van de eindstand een verder gaande exorotatie.

Over het gedrag van de beenstukken tijdens het heffen in een frontaal vlak en de bewegingen in het humero-scapulaire gewricht hierbij kan het volgende worden opgemerkt. Bij de tot 90° zonder rotatie zijwaarts geheven arm bevindt de humerus zich in een retroflexiestand ten opzichte van het scapulaire vlak. De verticaal staande scapula maakt een hoek van ca. 40° met het frontale vlak. De margo vertebralis maakt een hoek van 20° - 30° met een verticale lijn in het scapulaire vlak. Door de belemmering van het aan de onderzijde van de kapsel gelegen ligamentum glenohumerale inferius kan de humerus niet verder geheven worden. Na exorotatie, waarbij het ligament aan de voorzijde van het gewricht een plaats vindt, kan de heffing nog iets toenemen. De humerus bevindt zich in een retroflexiestand ten opzichte van het scapulaire vlak en in exorotatie ten opzichte van de scapula en is in deze stand in het gewricht maximaal geheven.

In de nu volgende en laatste fase van de heffing wordt de scapulapunt naar voren bewogen, waardoor de margo vertebralis uiteindelijk een hoek van ca. 50° maakt met een verticale lijn in het scapulaire vlak, dat wij ons nog steeds verticaal denken en dat een hoek van ca. 40° met het frontale vlak maakt. Tegelijkertijd zal de humerus een beweging uitvoeren, waardoor hij om en nabij het scapulaire vlak een plaats vindt, want alleen wanneer hij om en nabij dit vlak is gelegen, kan hij maximaal geheven zijn. Om dit te bereiken, zal dus de retroflexiestand opgeheven moeten worden. Er zal tegelijkertijd met het naar voren bewegen van de scapulapunt een anteflecterende beweging van de humerus plaatsvinden, totdat de bovengenoemde stand ten opzichte van het scapulaire vlak is bereikt. Wanneer de humerus alleen deze anteflecterende beweging maakt, blijkt een geringe verdere heffing mogelijk te zijn in het humero-scapulaire gewricht. Immers, er kon worden opgemerkt, dat retroflexie van de humerus vanuit het scapulaire vlak gepaard gaat met een heffingsvermindering. Hoe de combinatie van de anteflexie en de geringe heffing zal uitvallen is afhankelijk van de weg, die voor de arm gekozen wordt. *Deze ante-*

flexie heeft hetzelfde effect als de noodzakelijke exorotatie, die de humerus zal moeten uitvoeren om een geëndoroteerde stand te voorkomen, indien hij in de reeds gegeven theoretische beschrijving door heffen via het frontale vlak bij ca. 180° het scapulaire vlak bereikt. Nadat de retroflexiestand is opgeheven bevindt de humerus zich dus in het scapulaire vlak en staat hierbij 90° geëxoroteerd ten opzichte van de scapula, die wij nog steeds verticaal denken en waarvan de margo vertebralis een hoek maakt van ca. 50° met een verticale lijn. De exorotatie waarbij maximale elevatie mogelijk is zal echter geen 90° zijn, doch ca. 75°. Op dit laatste zal zo dadelijk nog nader worden ingegaan.

Wanneer de arm zonder te roteren voorwaarts wordt geheven kan dit, zoals reeds werd beschreven, tot ca. 135° plaatsvinden. *In deze stand bevindt de humerus zich in een anteflexie- en exorotatiestand.* Deze exorotatie bedraagt 90°. Om de eindstand te bereiken, zal de humerus om en nabij het scapulaire vlak geplaatst moeten worden. De beweging, waardoor de humerus deze stand kan bereiken, is een retroflexie en zal tegelijkertijd plaatsvinden met het naar de eindstand bewegen van de scapula, waarbij voorlopig de achteroverkanteling achterwege blijft. Hoe deze beweging van de humerus precies plaatsvindt, is afhankelijk van de weg, die hiervoor gekozen wordt. Deze beweging heeft hetzelfde resultaat als het opheffen van de anteflexiestand in het horizontale vlak. Deze beweging heeft ook hetzelfde effect als de in het literatuuroverzicht beschreven noodzakelijke endorotatie, die bij het heffen door het sagittale vlak tot 180° door J o h n s t o n op theoretische gronden werd aangetoond. Wanneer de anteflexie is opgeheven, bevindt de humerus zich nog in een exorotatiestand van 90° ten opzichte van de scapula.

Inmiddels is het hierdoor duidelijk geworden, dat bij het heffen boven het horizontale vlak hetzij via het frontale, hetzij via het sagittale vlak de slothef-fing doorgaans niet geheel in het frontale respectievelijk sagittale vlak kan plaatsvinden, doch dat een eindstand bereikt zal worden, waarbij de humerus tussen deze vlakken in is gelegen. Bij inspectie werd gevonden, dat in de eindstand de lengte-as van cranio-lateraal naar caudo-mediaal gaat, waarbij de epicondylus medialis naar medio-ventraal wijst.

Tijdens deze bespreking zijn wij evenals J o h n s t o n er dus van uitgegaan, dat bij maximale elevatie de scapula zich in een verticaal vlak bevindt. In de tot nu gevolgde beschouwing is de humerus 90° ten opzichte van de scapula geëxoroteerd. Nu bleek uit ons onderzoek, dat dit geenszins het geval is. Immers de scapula bevindt zich *niet* in een verticaal vlak, doch is enigszins achterovergekanteld (over ca. 15°). Deze achteroverkanteling heeft hetzelfde

effect als een vermindering van de exorotatie. Hierdoor bevindt de humerus zich niet in een geëxoroteerde stand van 90° ten opzichte van de scapula, doch van ca. 75° . Wordt de humerus in het scapulaire vlak over 90° geëxoroteerd, dan gaat juist het laatste deel van de beweging met enige moeite, in tegenstelling tot de eerste 75° . De kapselverhoudingen zijn bij ca. 75° exorotatie in hoofdstuk VI beschreven. Aan de voorzijde is het ligamentum glenohumerale inferius recht uitgespannen, terwijl aan de achteronderzijde de kapselvezels een min of meer recht beloop hebben en strak zijn uitgespannen. Bovendien is het aanhechtingspunt van het caput longum van de m. biceps aan de tuberositas supraglenoidalis tegenover de sulcus intertubercularis gelegen. Heeft de exorotatie nog verder plaatsgevonden, zoals bij 90° , dan ontstaan aan de achteronderzijde van de kapsel schuin verlopende plooien en de sulcus intertubercularis bevindt zich dorsaal van de aanhechting van het caput longum van de m. biceps aan de tuberositas supraglenoidalis. Er is hierbij een zekere spanning in de kapsel op te merken, die bij ca. 75° afwezig is. *De achteroverkanteling van de scapula heeft tot gevolg, dat de exorotatie van de humerus ten opzichte van de scapula vermindert, waardoor de kapsel zich niet in een geforceerde stand bevindt en de elevatie in het humero-scapulaire gewricht maximaal is. De maximale elevatie wordt dus bepaald door de verplaatsing van de scapula-punt naar lateraal plus de maximale elevatie in het humero-scapulaire gewricht, waarbij de humerus om en nabij het scapulaire vlak gelegen, over ca. 75° ten opzichte van de scapula is geëxoroteerd.*

Wanneer de arm hangend langs het lichaam maximaal geheven wordt, zal hij afhankelijk van het vlak, waarin de heffing plaatsvindt, de volgende rotaties uitvoeren. Bij het zijwaarts heffen zal hij na 90° een exorotatie van 90° uitvoeren ten opzichte van de stand, die de arm hangend langs de romp inneemt en vervolgens bij het heffen tot de eindstand het aantal graden om in het scapulaire vlak te komen, dus ca. 40° . In totaal zal de arm *ten opzichte van de beginstand bij zijwaarts heffen ca. 130° roteren om in de eindstand te komen.* Was de arm zonder te roteren maximaal geheven, dan zou de epicondylus medialis naar lateraal wijzen. Deze epicondylus wijst echter naar medio-ventraal, de humerus is dus ook ten opzichte van deze stand 130° geëxoroteerd. In deze eindstand is de humerus om en nabij het scapulaire vlak gelegen en ca. 75° ten opzichte van de scapula geëxoroteerd. In dit verband is het van belang op te merken, dat O h n s o r g e bij onderzoek van 50 proefpersonen met een normaal schoudergewricht de exorotatie bij heffen door een frontaal vlak ca. 130° vindt.

Bij het voorwaarts heffen zal de arm alleen een endoroterende beweging

maken om hiermee in het scapulaire vlak te komen, deze zal ca. 50° bedragen. Wanneer het voorwaarts heffen van de arm over 180° mogelijk zou zijn, zou in de eindstand de epicondylus medialis naar mediaal wijzen. Dat wil zeggen, hij is 180° geëxoroteerd ten opzichte van de stand, die de humerus inneemt, wanneer hij door een frontaal vlak zonder rotatie maximaal geheven is en dus ook ten opzichte van de arm hangend langs het lichaam. De epicondylus medialis wijst echter naar medio-ventraal en het bleek, dat de humerus moet endoroteren over ca. 50° om in de juiste verhouding ten opzichte van de scapula te komen. De humerus zal dus ten opzichte van de hangende stand van de arm langs het lichaam over 180° —ca. 50° is ca. 130° geëxoroteerd zijn. Ook nu weer bevindt de humerus aan het eind van deze bewegingen zich in een exorotatiestand van ca. 75° ten opzichte van de scapula. Bij de eindstand van de scapula, waarvan de kenmerken reeds genoemd werden, wordt steeds een karakteristieke stand van de clavicula gevonden. Behalve de hoekveranderingen, die het beenstuk met het frontale en horizontale vlak maakt, heeft ook een rotatie om de lengte-as plaatsgevonden, waarbij de ventrale rand van de clavicula naar craniaal draait. Hierdoor is op de röntgenfoto een S-vormig beeld ontstaan, waarbij ook de tuberositas coracoidea zichtbaar is. Het bleek, dat na rotatie van ca. 40° een zodanig beeld kan ontstaan.

Door Inman en Saunders wordt eenzelfde getal hiervoor opgegeven. Dit werd verkregen, nadat zij in de clavicula van een proefpersoon een pen als indicator voor de bewegingen hadden aangebracht. Bij de bespreking van de bewegingen, die tussen scapula en clavicula mogelijk zijn, bleek bij een verplaatsing naar lateraal over meer dan 20° - 30° van de scapulapunt deze rotatie om de lengte-as noodzakelijk te zijn. Wij hebben dit ook aan claviculo-scapulaire preparaten kunnen constateren.

Een nadere analyse waarbij de ligging van het ligamentum coracoclaviculare in verband gebracht zal moeten worden met deze bewegingen van clavicula en scapula, is hiervoor nodig. Hetzelfde geldt voor het gedrag van de articulatio acromioclaviculare hierbij.

Het wil ons voorkomen, dat deze desiderata en de vraagstukken over de werking van de spieren een aparte studie wettigen.

SUMMARY AND DISCUSSION

A review of the literature is given in Chapter I. Much attention has been paid to the question of when the scapula, the humerus, and the clavicle participate in the elevation of the arm, and some information of value can be found in the literature (Duchenne 1867, Cathcart 1884, Steinhäusen 1899, Inman and Saunders 1944, etc.). Nevertheless, the literature gives little data concerning the exact positions of these bones at various stages during elevation. An exception is found in Steinhäusen, who stated that the movement of the scapula to reach the position occupied at full elevation of the arm is twofold: a lateral rotation of the angulus inferior of about 60° and a forward rotation of the scapular plane of about 45° . Steinhäusen, Martin (1932), Codman (1934) and others have stated that elevation of the arm in a frontal plane is a combined movement of abduction and exorotation: with abduction alone the movement will be stopped at about 90° , and full elevation can be attained only when rotation has taken place. At 90° abduction without rotation the greater tubercle becomes locked under the coraco-acromial ligament; after lateral rotation it will find more room under the acromion and further elevation can be executed.

According to Johnston (1937), full elevation can be reached only after maximal elevation in the humero-scapular joint and maximal movement of the scapula along the chest wall. His explanation is a theoretical one which may be summarized as follows: assuming that at the beginning of the elevation the scapula and humerus are both in a frontal plane, abduction in the humero-scapular joint will be at first executed to about 90° ; the scapula will then rotate in a frontal plane and the inferior angle will point laterally. The arm is now in a vertical position but no rotation has as yet occurred. The next movement of the scapula is thought to be a rotation (along a vertical axis) and at the end of this movement the inferior angle will point to the ventral side. If, during this movement, the fully-elevated arm were fixed to the scapula, exorotation of the humerus in relation to the trunk would follow, but the humerus would not rotate in relation to the scapula. If, however, to reach the same end position the movements of scapula and humerus are carried out separately, then an

exorotation of the humerus in relation to the trunk is necessary. Rotation of the arm was observed not only during elevation in a frontal plane but in a sagittal one as well.

Although studies have been carried out on the movement in the humero-scapular joint, they all emphasize the amount of elevation and for the most part neglect the behaviour of the structures during movement (Strasser 1883, 1917; Shiino 1913; R. Fick 1911, 1928; Pfuhl 1934; Braune and Fischer 1888).

The present paper is a report of studies carried out in order to elucidate the various problems encountered in investigating the positions held by the scapula and humerus during elevation as well as the behaviour of the various structures of the humero-scapular joint capsule, and an explanation of the rotations during elevation is offered in conclusion.

A careful inspection was done of the movements of the humerus, the scapula, and the clavicle during elevation in the frontal and sagittal planes. The position of these bones at certain stages is described in detail in Chapters III, IV, and VII. The important structures of the humero-scapular capsule are described in Chapter V, and the changes in the positions of the ligaments during elevation in the frontal, sagittal, and scapular planes are discussed in Chapters VI and VII.

The elevation of the arm is clearly not only a movement of the humerus in the humero-scapular joint but of the scapula and the clavicle as well, accompanied by changes in the acromio-clavicular joint and the coraco-clavicular ligaments; Chapter VIII contains some remarks about these connections.

In the present study, careful inspection was carried out at the following stages of elevation in a frontal plane:

- the hanging arm along the body,
- the abducted arm at 90° without rotation,
- the abducted arm at 90° with exorotation,
- the fully-elevated arm.

Inspection was also done at 90° in a sagittal plane. Our findings will be described here in some detail.

The hanging arm along the body. In this position the axis of the humerus is vertical and the medial epicondyle points medially. The scapula lies on the dorso-lateral side of the chest wall at an angle of 30° with the frontal plane, the vertebral margin being vertical in a posterior-anterior projection. The

scapula is tilted ventrally at about 10° - 15° . The clavicle lies either in a horizontal plane or at an angle, which varies up to 15° , and at the same time at an angle of about 30° with a frontal plane.

The abducted arm at 90° without rotation. The axis of the humerus is horizontal and the medial epicondyle points downwards. The scapula lies on the dorso-lateral side of the chest wall at an angle of about 40° with the frontal plane, while the vertebral margin is at an angle of about 20° - 30° with a vertical line in the scapular plane. The clavicle is at an angle with the horizontal plane, which varies between 0° - 30° , and with a frontal plane at about 50° . Hardly any rotation along the long axis was observed.

The abducted arm at 90° with lateral rotation. The axis of the humerus is horizontal and the medial epicondyle points ventrally. The scapula and the clavicle remain in the same position as described for the abducted arm at 90° without rotation, provided no forced contraction of the serratus anterior muscle takes place.

The fully-elevated arm. The axis of the humerus runs in an antero-lateral to dorso-medial direction. The medial epicondyle points to the medio-ventral side. The scapula forms an angle of about 40° with the frontal plane, the vertebral margin being at an angle of about 50° with the perpendicular, but at the same time the cranial part is tilted dorsally at about 15° . The clavicle is at an angle of about 30° with a horizontal plane and about 60° with a frontal plane, while a rotation along the long axis of about 40° was observed.

The arm elevated to 90° in a sagittal plane. The scapular plane is at an angle of about 60° with a frontal plane, while the margo vertebralis is at an angle of about 20° - 30° with the perpendicular. In this position the clavicle is at an angle with the horizontal plane which varies between 0° - 30° , and at an angle of 30° with the frontal plane.

X-rays were taken of a loose scapula and clavicle in the positions on elevation in a frontal plane, x-rays of normal subjects serving as a control. No marked differences are visible. This provided us with some information about the behaviour of a projection on a frontal plane of the scapula and the clavicle in different positions.

In this respect the relation of the coracoid process to the glenoid cavity and the scapular spine is of importance. *The coracoid process of a loose scapula in a frontal plane is projected medially both laterally from the glenoid cavity and*

together with the acromion. When the scapula is at an angle with a frontal plane the coracoid process is shortened, as it is at all stages during elevation in a frontal plane, in a posterior-anterior projection. When the scapula is tilted ventrally the coracoid process is projected more caudally on the scapular spine, as can be demonstrated in the position of the hanging arm along the body. When the scapula is tilted dorsally the coracoid process is projected cranially. This is clearly seen in the fully-elevated position of the arm. The coracoid process has the very characteristic form of a curved tooth sticking into the air, together with a very oblique position of the vertebral margin. When the arm is abducted with or without rotation the coracoid process is shortened and can be projected either above or on the scapular spine, as will be discussed in detail below.

The projection of the clavicle when the arm is hanging along the body or when the arm is abducted is characterized by two parallel lines running laterally, either horizontally or obliquely. The projection of the clavicle at the fully-elevated position has an S-shape which is due to a rotation along the long axis; at the caudal border of the acromial part the coracoid tuberositas is visible.

Some remarks about the anatomy of the capsule are required before a description of the structures at the various stages of elevation can be given. Outside the capsule, the subdeltoid and subcoracoid bursae are present. In a normal joint no connection between these bursae and the joint cavity exists: Bursae I and II are extensions of the joint cavity, lying caudally from the coracoid process. Bursa I extends along the cranial tendon of the m. subscapularis. The dorsal wall of this bursa is the lamina profunda, which is not present on the lateral side. Bursa II is located dorsally from the lamina profunda. At the spot where the lamina profunda is absent, the subscapularis tendon projects into the joint cavity and the fibres of the cranial capsule area run over the ventral side of the m. subscapularis. The dorsal wall of bursa II is formed partly by the ventral side of the scapular plane and partly by the middle gleno-humeral ligament, which runs from the labrum glenoidale into the joint capsule, caudally from the insertion on the lesser tubercle. The fibres of the inferior gleno-humeral ligament run from the ventro-caudal side of the labrum to the caudo-dorsal side of the anatomical neck.

Maximal elevation without rotation of the humerus in the scapular plane is possible to between 70° and 90° . The oblique fibres of the inferior gleno-humeral ligament are extended and the greater tubercle will without hindrance find a place under the coraco-acromial ligament. An exorotation can be

executed to about 90° , the first 75° proceeding with ease. The elevation after exorotation can be increased by about 10° . As a result of the exorotation, the dorso-caudal insertion-points of the anatomical neck are located on the ventro-caudal side and the greater tubercle is shifted from the cranial to the dorsal side of the joint. The inferior gleno-humeral ligament is now situated on the ventral side of the joint. The oblique position of this ligament and of the middle gleno-humeral ligament plays an important role here and explains why after exorotation there will be more space in the joint capsule and why *abduction is not diminished but rather, on the contrary, somewhat increased*. When the arm is elevated in a frontal plane the humerus is in a retroflexion position in relation to the scapular plane. The abducted arm without rotation is in a retroflexion, but the abducted arm with exorotation is not only in a retroflexion position in relation to the scapular plane but in exorotation in relation to the scapula itself.

On elevation in a sagittal plane, the humerus lies in an anteflexion position in relation to the scapular plane. When the arm is elevated to 90° the epicondyles are from the beginning perpendicular to the plane of elevation. As a result of this, the humerus lies not only in an anteflexion position in relation to the scapular plane but in an exorotation in relation to the scapula itself. When the arm is elevated to 90° and endorotated, the epicondyles are from the beginning in a sagittal plane. At the elevated position of 90° the humerus lies in an anteflexion position in relation to the scapular plane.

In the human body the humerus lies in close relation to the scapular plane when it is elevated in a plane halfway between the sagittal and frontal one. The fully-elevated humerus in the scapular plane, with or without rotation, can be moved in either an anterior or a posterior direction. With movement in either direction the elevation diminishes. When the arm is moved posteriorly this diminution starts immediately, but is less marked during the first degrees of anterior movement. These observations confirm the findings published by Fick and Pfuhl.

The explanation for the diminishing of the maximum elevation with either anterior or posterior movement is as follows. The caudal part of the capsule on either the ventral or the dorsal side is greatly extended and almost completely stretched in contrast to the more cranial parts. In other words, on moving posteriorly the ventro-caudal part will be completely stretched and further movement will be accompanied by a gliding of the caput humeri in a cranial direction where space is still available. The same will happen with movement anteriorly, although now the posterior part of the capsule will be extended to its maximum. Since some space is still available with anterior movement, this

phenomenon will occur somewhat later than when the humerus moves posteriorly.

From these observations certain facts can now be explained. Inspection showed that abduction of the arm without any rotation is possible to about 90° . Neither scapula nor humerus can be moved to the fully-elevated position. This will be possible, however, after exorotation has taken place, and even the scapula can reach this position by forced contraction of the serratus anterior muscle while the humerus is still 90° abducted and exorotated.

A study of the joint capsule when the arm is abducted to 90° without rotation reveals a twisted inferior gleno-humeral ligament and a stretched middle gleno-humeral ligament, which runs to the caudo-lateral side of the ventral capsule wall, while the greater tubercle slides under the coraco-acromial ligament. At this stage no further movement of the humerus is possible, nor can the scapula be moved into the position of the fully-elevated arm. *Both gleno-humeral ligaments act as a brake.* After exorotation the inferior gleno-humeral ligament is turned to the ventral side of the joint and the middle gleno-humeral ligament now runs to the cranio-lateral side. While the humerus is fixed in this position the scapula can reach the position it occupies when the arm is fully elevated. While the scapula is fixed the humerus can be elevated about 10° . The positions of both gleno-humeral ligaments are changed during exorotation and they form no further hindrance. During the exorotation the major tubercle rotates to the dorsal side and finds a place under the acromion. The subdeltoid bursa undoubtedly plays an important role, because its walls glide along each other. P f u h l and G a l e m a (1950) have already mentioned this fact.

The projection of the coracoid process of the scapula at 90° abduction with and without rotation presents two possibilities with regard to the scapular spine. The coracoid process can be projected either together with the scapular spine or just above it. In the latter case a backward tilt of the scapula might be expected. A study of a capsule in this position, however, showed that the positions of the middle and inferior gleno-humeral ligaments make a backward tilt impossible. Therefore, it seems likely that the projection of the coracoid process above the scapular spine is not due to a backward tilt, but originates from the relation between the coracoid process and the rest of the spine. A study of 10 scapulae chosen at random showed that this relation indeed may vary.

It is now possible to explain the mechanism of rotation. Some objections have been made to M a r t i n's explanation. As we have said, he is concerned only with the greater tubercle and its position in relation to the fornix humeri. Our study revealed the following data. *Abduction of the arm is accompanied by a*

gliding of the greater tubercle under the coraco-acromial ligament, but simultaneously the caudal part of the capsule twists. After exorotation the greater tubercle does indeed find a place under the acromion, but simultaneously the twist of the capsule is reversed allowing some further elevation (about 10°). The end position can be achieved only after movement of the shoulder girdle. Martin does not assign much importance to these facts. Johnston's theoretical reflection, on the contrary, is concerned with the movements of both the humerus and the scapula. He describes the rotations necessary in order to reach the same end position no matter how the humerus is elevated.

Proceeding from this idea, our study showed that the humerus with both epicondyles can be brought into the scapular plane at various stages of elevation. In the position of the hanging arm along the body the humerus is in an exorotation of about 30° in relation to the scapula, and after an endorotation both condyles and the long axis are in the scapular plane. After abduction without rotation in a frontal plane to about 90° , the humerus is in a retroflexion in relation to the scapular plane. After anteflexion the humerus with both epicondyles is placed in the scapular plane. *An anteflexion at 90° abduction and an endorotation of the hanging arm have the same effect. In both instances the humerus is placed in the scapular plane with the only difference that after anteflexion the humerus is still in an abduction of about 90° .*

After elevation of the humerus in a frontal plane to 180° with no rotation, the long axis lies in a scapular plane provided that the scapula is still vertical and at an angle with a frontal plane. The humerus in the hanging position is in an exorotation in relation to the scapula. *After elevation of 180° in a frontal plane the humerus will be in an endorotated position in relation to the scapula. Only after exorotation will the epicondyles find a place in the scapular plane.* If in this position the scapular plane is at an angle of about 40° with a frontal plane, this exorotation must be about 40° ; and the humerus is now in an unrotated position in relation to the scapula. *In the living person, however, we observed the humerus in an exorotation in relation to the scapula when the arm is fully elevated. As a consequence of this fact, the humerus requires not only an exorotation in order to eliminate the endorotation just described, but at the same time an extra rotation.*

If we suppose the humerus to be in a position of 90° exorotation in relation to the scapula, which is still in a vertical plane, the extra rotation will be the same. During a 90° abduction in a frontal plane an exorotation of 90° can be observed. Reaching the fully-elevated position, the humerus will lose some rotation. If the scapula lies in a vertical plane at an angle of 40° with a frontal

plane, this loss will be 40° and in the fully-elevated position the humerus will be in an exorotation of 50° in relation to the scapula. But as we have shown, this exorotation is 90° . In order to reach this position an extra rotation of about 40° would be required during the last phase of the elevation, and this exorotation was indeed observed.

We can now take up in detail the behaviour of humerus and scapula and the capsule during elevation in a frontal plane. At 90° abduction without rotation, further elevation of the humerus was impossible, the inferior gleno-humeral ligament being the limiting factor. After an exorotation of 90° has taken place, the elevation in the humero-scapular joint can be increased by a few degrees. *The humerus is now in a retroflexion position in relation to the scapular plane and is in an exorotated position in relation to the scapula.* During the next and last phase of the elevation both scapula and humerus move. The humerus finds a place in close relation to the scapular plane, and the inferior angle of the scapula moves laterally. *This movement of the humerus is an anteflexion.* When the humerus has reached the scapular plane some increase in the elevation is possible. Exactly how this combined movement of anteflexion and elevation is executed, depends on the manner in which the arm is elevated. This anteflexion has the same effect as the necessary exorotation described by Johnston.

When the arm is elevated in a sagittal plane at 90° the position of the humerus in relation to the scapular plane is an anteflexion. At the same time the humerus is in an exorotated position in relation to the scapula. The fully-elevated position is known; the only necessary movement of the humerus is to reach the scapular plane *by a retroflexion.* When the humerus has reached the scapular plane some elevation is still possible. How the combined movement of retroflexion and elevation is executed depends on the manner in which the arm is to be elevated.

The retroflexion has the same effect as an endorotation either at 180° or at the fully-elevated position. During the last phase of the elevation the inferior angle moves laterally and simultaneously the retroflexion and elevation will take place. When the arm is elevated either through a frontal or a sagittal plane in order to reach the fully-elevated position, the concluding movement will usually be characterized by reaching an end position in between those planes.

We indeed observed the long axis of the humerus running from latero-cranial to medio-caudal and the medial epicondyle pointing to medio-ventral.

We have thus far supposed that the humerus is in an exorotation of 90° towards the vertical scapula. However, in the fully-elevated position the scapula is *not vertical but is tilted dorsally at about 15° .* The effect of this

movement is a reduction of the exorotation of the humerus in relation to the scapula. Observation of the exorotation of the humerus in the scapular plane revealed that the first 75° went with ease, while moving on to 90° required some force. At 75° the intertubercular groove is opposite the insertion of the long head of the m. biceps at the supra-glenoid tubercle; the ventral and caudo-dorsal fibres are opposite their insertions. After continuing the exorotation up to 90° the insertions are shifted in relation to each other and some torsion appears. *The exorotation of about 75° is of importance because it provides that the capsule is not in a forced position.*

When the hanging arm along the body is elevated through a frontal plane, an exorotation of 90° at 90° abduction will take place. During the following and last phase of the elevation an anteflexion is executed. As demonstrated above, this anteflexion has the same effect as an exorotation executed at 180° according to Johnston. As mentioned above, this rotation will be about 40° . The fully-elevated arm will be in an exorotation of $90^{\circ} +$ about 40° in relation to the hanging position along the body. In other words, if the arm is elevated to 180° through a frontal plane without any rotation the medial epicondyle will point laterally, and at 180° an exorotation of about 130° will be necessary in relation to the hanging position of the arm along the body. This was indeed observed by O h n s o r g e (1933) on examination of 50 healthy shoulders of living persons. The fully-elevated humerus lies in close relation to the scapular plane and is in an exorotated position of about 75° in relation to the scapula.

When the hanging arm along the body is elevated to 180° through a sagittal plane without any rotation, the medial epicondyle will point medially. In other words, the arm is in an exorotated position of 180° in comparison with the hanging arm along the body. As we have seen above, an endorotation of about 50° is executed. This has the same effect as a retroflexion, and after this the arm is rotated 50° less than 180° , and is therefore rotated 130° in comparison with the hanging position of the arm along the body. At the fully-elevated position of the arm the humerus is in close relation to the scapular plane and in an exorotated position of 75° in relation to the scapula.

Together with the scapula, the clavicle has reached its end position. This position is characterized by an S-shape, which can be attained after a rotation of about 40° along the long axis. I n m a n and S a u n d e r s found the same amount of rotation. They inserted a pin into the clavicle of a living subject and the rotation during elevation was measured. At 90° elevation in a frontal or sagittal plane, hardly any rotation could be observed. This could also be

demonstrated with a claviculo-scapular preparation. A detailed study of the changes in the acromial-clavicular joint and in the coraco-clavicular ligament is not, however, the object of this paper. Further study of these changes and the function of the various muscles is required. The present investigation suggests a basis for such study.

LITERATUUR

- BOM, J. D., 1951. De rupturen van de korte rotatoren van de schouder. Diss. Leiden.
- BRAUNE, W. und FISCHER, O., 1888. Über den Antheil, den die einzelnen Gelenke des Schultergürtels an der Beweglichkeit des menschlichen Humerus haben. Abh. K. Sächs. Ges. Wiss., Math.-Phys. Cl., 14, 395-410.
- CATHCART, C. W., 1884. The movements of the shoulder girdle involved in those of the arm on the trunk. J. Anat. Physiol., 18, 211-218.
- CLELAND, J., 1884. Notes on raising the arm. J. Anat. Physiol., 18, 275-278.
- CUNNINGHAM, D. J., 1931. Textbook of Anatomy.
- CODMAN, E. A., 1934. The Shoulder.
- DUCHENNE, G. B., 1885. Physiologie der Bewegungen. (Duitse vertaling van de Franse uitgave van 1867).
- FICK, R., 1904. Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke.
Dl. I-II. von Bardeleben Handbuch der Anatomie.
- FICK, R., 1911. Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke.
Dl. III. von Bardeleben Handbuch der Anatomie.
- FICK, R., 1928. Bewegungsumfang im Schultergelenk. S.ber. Preuss. Akad. Wiss., Math.- Phys. Cl., 53-73.
- FISS, GUY H., 1944. Some observations of motion at the shoulder joint. Canad. Med. Ass. J., 50, 213.
- GALEMA, P. C., 1950. Periarthritis Humeroscapularis. Diss. Groningen.
- GAUPP, E., 1894. Über die Bewegungen des menschlichen Schultergürtels und die Ätiologie der sog. Narkosenlähmungen. Zbl. Chir., 34, 793-808.
- HENKE, W., 1863. Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke.
- HENLE, J., 1856. Anatomie des Menschen. Handbuch der Muskellehre.
- HERDER, B. A. den, 1958. De arthrographie van het schoudergewricht. Diss. Amsterdam.
- INMAN, V. T., SAUNDERS, J. B. deC. M. and ABBOTT, L. C., 1944. Observations on the function of the shoulder joint. J. Bone Surg., 26A, 1-30.

- JOHNSTON, T. B., 1937. The movements of the shoulder joint. A plea for the use of the plane of the scapula as the plane of reference for movements occurring at the humero-scapular joint. *Brit. J. Surg.*, 30, 252-260.
- KNESE, K. H., 1950. Die Bewegungen auf einer Führungsfläche als Grundlage der Gelenkbewegungen dargestellt am Schultergelenk. *Zschr. Anat. Entw. Gesch.*, 115, 115-161.
- LANDSMEER, J. M. F. en NAUTA, W. J. H., 1950. Het mechanisme van de frontale elevatie van de arm. *Ned. tschr. geneesk.*, 94, 201-202.
- LANDSMEER, J. M. F., 1959. L'articulation scapulo-humérale chez l'homme à l'époque foetale. *Comptes Rend. Ass. Anat. Réunion de Gand*, 103, 459-467.
- LANDSMEER, J. M. F. and MEIJERS, K. A. E., 1959. The shoulder region exposed by anatomical dissection. *Arch. Chir. Neerl.*, 11, 274-296.
- LANDSMEER, J. M. F., 1960. L'exploration anatomique et la dénomination des bourses séreuses de l'articulation scapulo-humérale. *Comptes Rend. Ass. Anat. Réunion de Montpellier*, 107, 396-402.
- LANZ, T. von, und WACHSMUTH, W., 1935. *Praktische Anatomie*. Bd. I, dl. III.
- LEWINSKI, 1877. Der Mechanismus der Schultergürtelbewegungen. *Arch. Physiol.*, 196-207.
- LOCKHART, R. D., 1930. Movements of the normal shoulder joint and of a case with trapezius paralysis studied by radiogram and experiment in the living. *J. Anat.*, 24, 288-301.
- MARTIN, C. P., 1932. A note on the movements of the shoulder joint. *Brit. J. Surg.*, 20, 61-66.
- MARTIN, C. P., 1940. The movements of the shoulder joint with special reference to rupture of the supraspinatus tendon. *Amer. J. Anat.*, 66, 213-234.
- MCGREGOR, LEE, 1937. Rotation at the shoulder. A critical inquiry. *Brit. J. Surg.*, 24, 425-438.
- MEIJERS, K. A. E. en LANDSMEER, J. M. F., 1957. Röntgenologische waarnemingen van de heffing van de arm in het frontale vlak. *Ned. tschr. geneesk.*, 101, 2147-2149.
- MEYER, G. H., 1873. *Die Statik und Mechanik des menschlichen Knöchengerüsts*.
- MOLLIER, S., 1899. *Über die Statik und Mechanik des menschlichen Schultergürtels unter normalen und pathologischen Verhältnisse*.
- MOLLIER, S., 1924. *Plastische Anatomie*.
- NAUTA, W. J. H. and LANDSMEER, J. M. F., 1948. The gross anatomy of the peri-articular tissues of the shoulder joint. *Ann. Rheumat. Dis.*, 7, 164-171.
- OHNSORGE, K., 1933. Die Bedeutung der Oberarmauswärtsroller für die Hebung des Armes in der Frontalebene. *Zschr. Orthop. Chir.*, 58, 383-389.

- OLIVIER, G. et PINEAU, H., 1957. Biométrie du scapulum. Path. et Biol. II, Arch. d'Anat., 5, 67-88.
- PFUHL, W., 1934. Das subacromiale Nebengelenk des Schultergelenks. Morph. Jb., 73, 300-346.
- PFUHL, W., 1934. Der Bewegungsumfang im Schultergelenk und der Anteil des subacromialen Nebengelenkes an den Schultergelenkbewegungen. Morph. Jb., 74, 670-696.
- POIRIER, P., z. j. Traité d'anatomie humaine.
- QUAIN, J., 1882. Elements of anatomy (geciteerd naar C. W. Cathcart).
- ROUVIÈRE, H., 1924. Anatomie humaine.
- SAHA, A. K., 1961. Theory of Shoulder Mechanism.
- SHIINO, K., 1913. Schultergelenkbewegungen und Schultermuskulararbeit. Arch. Anat., Suppl. Bd., 1-88.
- STEINHAUSEN, 1899. Beiträge zur Lehre von dem Mechanismus der Bewegungen des Schultergürtels. Archiv. Physiol., Suppl. Bd., 403-430.
- STEINHAUSEN, 1901. Über die Grenze der Erhebungsfähigkeit des Armes in ihrer physiologischen und klinischen Bedeutung. Dtsch. med. Wschr., 27, 539-540.
- STRASSER, H., 1917. Lehrbuch der Muskel und Gelenkmechanik. Die obere Extremität.
- TESTUT, L., 1928. Traité d'anatomie humaine.
- WINSLOW, J. B., 1732. Exposition anatomique de la structure du corps humain.

